TEKNILLINEN KORKEAKOULU
TEKNISKA HÖGSKOLAN
HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Harri Perkkiö

TUETTUJEN KAIVANTOJEN RISKIENHALLINTA

Pohjarakennuksen ja maamekaniikan syventymiskohteen diplomityö, joka on jätetty opinnäytetyönä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Helsingissä 20.2.2009
Valvoja: Professori Pauli Vepsäläinen
Ohjaaja: Diplomi-insinööri Heikki Kangas

TEKNILLINEN KORKEAKOULU DIPLOMITYÖN TIIVISTELMÄ

Tekijä:	Harri Perkkiö		
Työn nimi:	Tuettujen kaivantojen riskienhallinta		
Päivämäärä:	20.2.2009	**Sivumäärä:**	89 s. + liitteet 22 s.
Tiedekunta:	Insinööritieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunta	**Professuuri:**	Pohjarakennus ja maamekaniikka
Työn valvoja:	Professori Pauli Vepsäläinen		
Työn ohjaaja:	DI Heikki Kangas		
Avainsanat:	Riski, riskienhallinta, tuettu kaivanto, laki, normi, RakMK, määräys, ohje		

Työn tavoitteena oli selvittää tyypillisimmät tuetun kaivannon riskit suunnittelun ja toteutuksen aikana. Lisäksi tavoitteena oli kehittää riskienhallinnan työkaluja kaivantoja varten.

Riskien analysointi kaivannon suunnittelussa on sisällytetty yleensä normeihin ja ohjeisiin; varmuuskertoimiin, sallittuihin muodonmuutoksiin, jne. Lisäksi määräyksillä ja erillisillä kunnallisilla (pääkaupunkiseudun) kaivutyöohjeilla pyritään lisäämään turvallisuutta kaivannon suunnittelussa ja toteutuksessa. Vaikka näitä ohjeita ja määräyksiä on pyritty noudattamaan, silti onnettomuuksia ja vaaratilanteita on tapahtunut kaivannon toteutusvaiheessa.

Riskienhallinnalla pyritään ennalta ehkäisemään riskit ennen niiden toteutumista. Riskienhallinnan tarkoituksena on tunnistaa kaivantohankkeessa olevat riskit ja miettiä etukäteen niiden hallintakeinoja. Riskienhallintaan kuuluu neljä vaihetta: riskin tunnistaminen, riskin arviointi, toimenpiteet ja dokumentointi. Riskienhallinnan pohjalta tehdään loppuraportti, joka palvelee myös viranomaisia, jos kohde kuuluu RakMK A1, 3.2.1, määräyksen mukaisen erityismenettelyn piiriin. Lisäksi riskienhallinnan loppuraportti palvelee tilaajaa urakkatarjouskilpailussa, sekä urakoitsijaa.

Riskienhallintamenetelmää testattiin esimerkkikohteessa, jossa kohde oli arvioitu kuuluvaksi rakenteellisen turvallisuuden alustavan riskiarvion jälkeen erityismenettelyn piiriin kuuluvaksi vaativien pohjarakenneolosuhteidensa takia.

HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY **ABSTRACT OF THE MASTER'S THESIS**

Author:	Harri Perkkiö		
Name of the thesis:	Risk management of supported excavations		
Date:	20.2.2009	**Number of pages:**	89 p.+ appendices 22 p.
Faculty:	Faculty of Engineering and Architecture	**Chair:**	Soil Mechanics and Foundation Engineering
Supervisor:	Pauli Vepsäläinen, Professor		
Instructions:	Heikki Kangas, M.Sc. (Tech)		
Keywords:	Risk, risk management, supported excavation, law, building codes, RakMK, writ, instruction		

The aim of this work was investigating the most typical risks in excavation, considering both design and execution. Developing tools for risk management was also considered.

Risk analysis of excavation design is generally implanted into standards and directives, for example in safety factors and allowed transformations. Even when these directives and regulations are followed, accidents have still occurred.

The aim of risk management is to spot possible risks and to find means for controlling them. Four phases are included in risk management: identifying risk, evaluating risk, finding measures against it and documentation. From the basis of risk management a final report is written, which will also serve authorities, if the building project is under "RakMK A1, 3.2.1"-regulated special procedure. The final report of risk management will also serve both the customer in competitive bidding and the contractor.

The risk management method was tested in an example project, which was assessed to be under a special procedure after an initial risk evaluation. Reason for this was the demanding conditions of the foundations.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Ramboll Finland Oy:n rahoittamana kesäkuun 2008 ja helmikuun 2009 välisenä aikana. Työtäni ohjasivat Ramboll Finland Oy:n Helsingin geosuunnittelun yksikössä DI Juha Forsman ja DI Heikki Kangas ja Infran hallinnan yksikössä DI Outi Lehti-Miikkulainen. Kiitän heitä työni ohjauksesta sekä siitä, että sain päättää korkeakouluopintoni diplomi-insinöörin tutkinnon osalta näin mielenkiintoisen ja ajankohtaisen aiheen parissa. Kiitän Ramboll Finland Oy:stä Päivi Lemmolaa AutoCad- karttakuvien muokkauksista sekä koko Helsingin geosuunnittelun yksikköä, josta olen saanut tarvittaessa apua ja neuvoja. Lisäksi kiitän haastatteluihin osallistuneita avusta ja hyvästä yhteistyöstä.

Kiitän Teknillisen korkeakoulun maamekaniikan ja pohjarakentamisen professoria Pauli Vepsäläistä työni valvomisesta ja tarkastamisesta.

Lämpimät kiitokset myös Lauri ja Ari-Pekka Perkkiölle tekstin oikoluvusta.

Riskienhallinnan muinaishistoriaa

Kauan kauan sitten esihistoriallisella ajalla, kun Suomessa eli luolaihmisille vaarallisia sapelihammastiikereitä, seikkailivat Ikuturso ja Toivelempi Suomen erämaan saloilla. Filosofit miettivät elämän tarkoitusta. Oppilas Toivelempi kysyi mestari Ikutursolta: ”Miksi olemme hengissä?” Mestari Ikuturso vastasi: ”Elämässä selviämiseen tarvitaan riskienhallintaa – havaitse sapelihammastiikeri, tule syödyksi, tarkoitan syöjäksi, eliminoi peto, ja maalaa tapettujen sapelihammastiikerien lukumäärä seinälle.” Toivelempi totesi: ”Kiitos mestari, näen riskienhallinnassa tulevaisuuden työkalun.”

Helsingissä 20.2.2009

Harri Perkkiö

SISÄLLYSLUETTELO

MÄÄRITELMÄT JA LYHENTEET

Termi	Määritelmä
Riski	Määrätyn vaarallisen tapahtuman esiintymistaajuuden, tai – todennäköisyyden, ja seurauksen yhdistelmä (SFS-IEC-60300-3-9)
Riskianalyysi	Saatavissa olevan tiedon järjestelmällistä käyttämistä vaarojen tunnistamiseksi sekä ihmisiin tai väestöön, omaisuuteen tai ympäristöön kohdistuvan riskin suuruuden arvioimiseksi (SFS-IEC-60300-3-9)
Riskin arviointi	Riskianalyysin ja riskin merkityksen arvioinnin kokonaisprosessi (SFS-IEC-60300-3-9)
Riskin suuruuden arviointi	Prosessi, jolla mitataan analysoitavien riskien taso. Riskin suuruuden arviointi koostuu seuraavista vaiheista: taajuusanalyysi, seurausanalyysi ja niiden yhdistäminen (SFS-IEC-60300-3-9)
Riskin merkityksen arviointi	Prosessi, jossa tehdään päätökset riskien siedettävyydestä riskianalyysin perusteella ottamalla huomioon sellaiset tekijät kuten sosio-ekonomiset ja ympäristölliset näkökohdat (SFS-IEC-60300-3-9)
Riskien hallinta	Johtamisperiaatteiden, menettelytapojen ja käytäntöjen järjestelmällistä hyväksikäyttämistä riskien analysoimiseksi, merkityksen arvioimiseksi ja valvomiseksi (SFS-IEC-60300-3-9)
Laki	Lakeja antaa eduskunta ja se on voimaantultuaan soveltamisalallaan velvoittava säädös.
Normi	Normi kuvaa oikeudellisessa yhteydessä oikeussääntöä, jolla on vahva velvoittavuusaste. Normi kattaa kaikkea sääntelyä lain tasolta viranomaisen määräyksiin ja ohjeisiin.
RakMK	Suomen rakennusmääräyskokoelma
Määräys	Määräykset koskevat tiettyä asiayhteyttä tai rajattua kohdepiiriä ja ovat velvoittavia. Määräyksiä voi antaa viranomainen, siinä tarkoituksessa ja laajuudessa, kuin sille on annettu tähän oikeus.
Ohje	Ohjeet sisältävät esimerkkejä hyväksyttävistä ratkaisuista. Ohje on velvoittamaton, mutta viranomaisen antaman ohjeen vastaisesti toimiminen on yleensä hyväksyttyä vain perustellusta syystä.
Vaativuusluokitus	RakMK:n osan A2 vaativuusluokat: AA erittäin vaativa, A vaativa ja B helppo

1 JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta

Ramboll Finland Oy on nähnyt tarpeelliseksi selvittää kaivannoissa olevia tyypillisiä riskejä ja saada työkalun riskienhallinnalle. Aihe on ajankohtainen, koska vuoden 2006 jälkeen valvontaviranomainen on voinut määrätä AA-vaativuusluokan rakennuskohteen kuuluvaksi erityismenettelyyn. Tämä määräys on Suomen rakennusmääräyskokoelmassa A1, kohdassa 3.2 Erityismenettely. Erityismenettely edellyttää yhtenä osana riskienhallinnan käyttöä.

Aihe on ajankohtainen myös siksi, että kaivantoihin liittyviä ongelmia tulee suunnittelussa liian usein vastaan. Ramboll tai Rambollin vakuutusyhtiö on joutunut korvaamaan mitoitus- tai suunnitteluvirheestä aiheutuneita kaivannon toteutuksen aikaisia lisäkustannuksia (sortuma, ympäristövauriot, lisätuennat, yms.).

Tutkimuksessa testattiin riskienhallinnan menetelmää esimerkkihankkeessa (KOY Hesperian tornien pysäköinti). Pohjarakennus- ja ympäristöolosuhteiden vuoksi kyseinen kohde määrättiin rakenteellisen turvallisuuden alustavan riskiarvion jälkeen erityismenettelyn piiriin, jossa edellytettiin riskienhallintaa. Kohteeseen on suunniteltu kaivanto, jossa kaivantojen riskienhallintamenetelmän avulla yritettiin pienentää epätoivottuja tapahtumia. (Liite 8 Esimerkkihanke: KOY Hesperian tornien pysäköinti)

1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset

Työn tavoitteena on selvittää tyypillisimmät riskit kaivannossa suunnittelun ja toteutuksen aikana. Haastattelujen kautta pyrittiin selvittämään kaivantojen riskejä mahdollisimman kattavasti. Lisäksi tavoitteena oli kehittää riskienhallinnan menetelmää kaivantoja varten hyödyntäen yleisiä julkaisuja, haastatteluja sekä Ramboll Finland Oy:n Infran hallinnan sisäisiä riskienhallinnan materiaaleja.

Tässä työssä ei käsitellä tilastollisia matemaattisia menetelmiä riskienhallinnassa eikä riskejä, jotka voi tulla yhteiskunnan, urakkasopimuksen tai muun vastaavan tapauksen myötä. Kaivantojen riskit on pyritty rajaamaan tällöin vain suunnitteluun ja toteutukseen.

1.3 Tutkimusmenetelmät ja tutkimuksen suoritus

Kirjallisuustutkimuksessa tarkastellaan yleisellä tasolla suunnittelun ohjeistusta, määräyksiä ja pääkaupunkiseudun kaivutyöohjeita, joilla riskejä yritetään pienentää kaivannon suunnittelussa ja toteutuksessa. Kirjallisuusselvityksessä esitellään riskin käsite, riskienhallinta-, riskianalyysiteoriaa sekä riskianalyysi rakentamisessa.

Haastattelemalla suunnittelijoita ja urakoitsijoita on pyritty löytämään tyypillisimmät riskit kaivannoissa ja kuinka paljon niitä on tapahtunut. Haastatteluista ja kirjallisuustutkimuksen pohjalta on pyritty löytämään sopiva riskienhallintamenetelmä kaivantoihin.

2 KAIVANTOTYYPIT

2.1 Luiskatut kaivannot

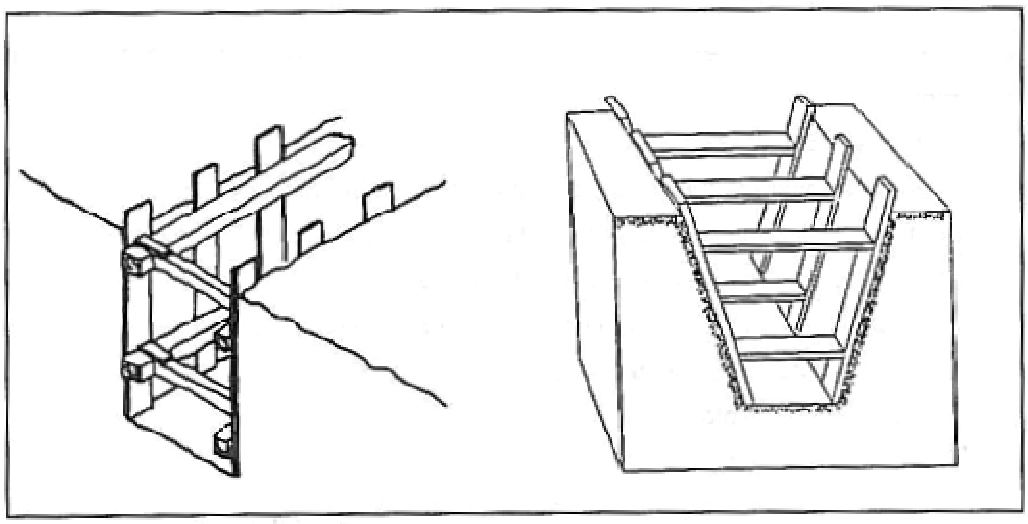
Matalat kaivannot pyritään useimmiten kaivamaan tukemattomina ja niin jyrkkiä kaivuluiskia käyttäen kuin rakennusaikaiset olosuhteet sallivat. Luiskatut kaivannot ovat herkkiä olosuhdetekijöille:

- Pitkäaikaisille sateille ja kuivumisille
- Pohjavedenpinnan korkeusvaihteluille ja erityisesti kaivulle pohjavedenpinnan alapuolella
- Huokospaineen nousulle ja pohjamaan häiriintymiselle paalutuksen johdosta
- Tärinöille, jotka johtuvat esimerkiksi työkoneista, paalutus-, poraus- ja räjäytystöistä sekä liikenteestä
- Routa lisää luiskan vakavuutta, mutta sortumisvaara on erittäin suuri roudan sulaessa. (Sjöholm, 1992)

2.2 Kevyet tuennat

2.2.1 Kevyt tuenta

Matalissa kaivannoissa saattaa kevyt tuenta olla tarpeellinen työturvallisuuden varmistamiseksi, vaikka kaivannon seinät teoreettisen tarkastelun mukaan pysyisivätkin pystyssä. Kevyt tuenta tehdään harvalla vaaka- tai pystysuoralla lankutuksella tai levyjä käyttäen kivien ja irtomaan putoamisen estämiseksi. Kaivannon seinät tuetaan vastakkain vaakasuorilla puu- ja terästuilla. Harvaa lankutusta ei saa käyttää löyhässä maassa, vaan maan tulee olla kuivaa ja koossa pysyvää. Käytettäessä pönkitystä on suositeltavaa, että kaivannon seinät luiskattaisiin, hyvin matalia kaivantoja lukuun ottamatta. Pönkityksessä lankkujen vapaaväli on suurempi kuin lankkujen leveys. Kuvassa 1 on esitetty kevyitä tuentatapoja. (Sjöholm, 1992)



Kuva 1. Kevyitä tuentatapoja. (Sjöholm, 1992)

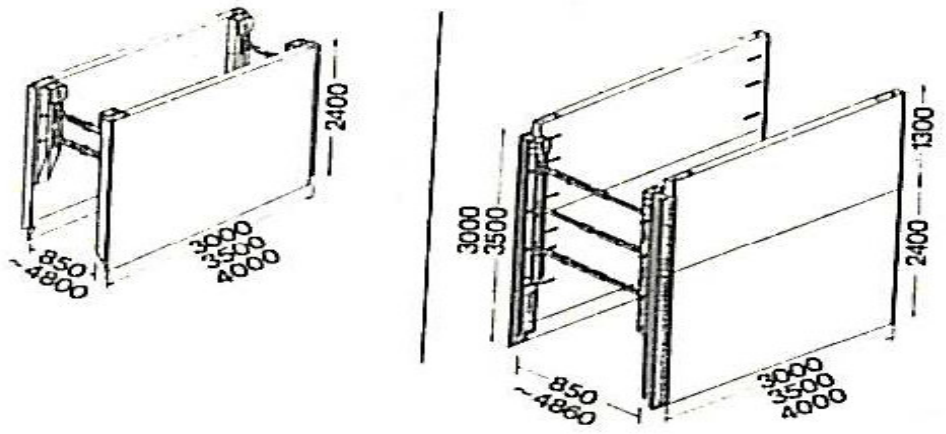
2.2.2 Puulankkuseinät

Puulankkuja voidaan käyttää matalien, enintään 3-4 m syvien kaivantojen tukemiseen. Puulankut ovat yleisimmin 38-75 mm paksuja. Puuponttiseinän etuna on sen vesitiiviys. Lankut lyödään maahan yksitellen. Lankut teroitetaan maan laadun mukaan ja veistetään toiselta syrjältään, jotta viereisten lankkujen pontit painuisivat tiiviisti yhteen. Kitkamaalajeissa lankut lyödään kaivun edistymisen myötä, jolloin lankut teroitetaan siten, että ne pyrkivät suuntautumaan ulospäin kaivannosta. Puupontti ei sovi pysyviin rakenteisiin. Harvaa puulankkuseinää voidaan käyttää kiinteissä maalajeissa, joissa maa holvaantuu lankkuja vastaan. (Sjöholm, 1992)

2.2.3 Elementit

Putkikaivantojen tukirakenteena käytetään usein tukielementtejä. Tukiseinäelementillä voidaan tukea 2-3 metriä syvä kaivanto. Elementit varmistavat työturvallisuuden, mutta ne eivät aina estä maan liikkeitä kaivannon ympäristössä ja pohjassa. Syvemmässä kaivannossa joudutaan asentamaan kaksi tai useampia elementtejä päällekkäin. Syvien kaivantojen tukeminen tukiseinäelementeillä ei ole suositeltavaa, koska seinäelementit eivät estä pohjan nousua. Tukiseinäelementit ovat yleensä terästä ja koostuvat seinälevystä sekä säädettävistä tukitasoista. Vaakatukia voi olla yksi tai useampia. On myös olemassa elementtejä, jotka koostuvat liukutukikiskoista ja niiden väliin pujotettavista tukilevyistä. Näiden etu on keve-

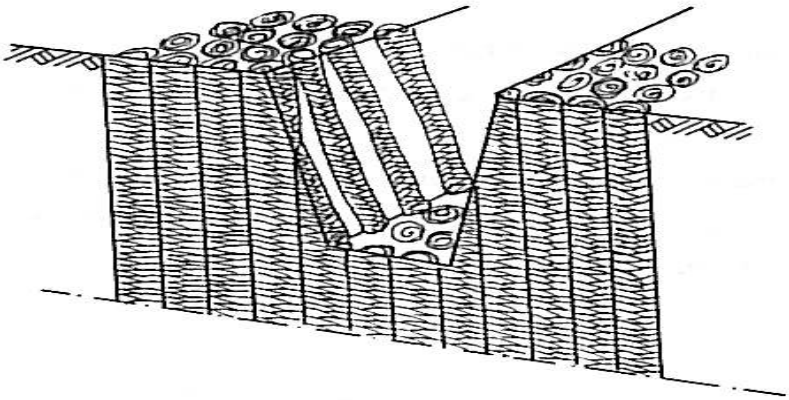
ys ja parempi vesitiiveys kuin tavanomaisilla tukielementeillä. Elementtejä saatetaan käyttää myös teräsponttiseinien vaakatukina. Tuentaelementtejä ei pidä käyttää herkässä savessa. Kuvassa 2 on esitetty tuentaelementtejä. (Sjöholm, 1992)



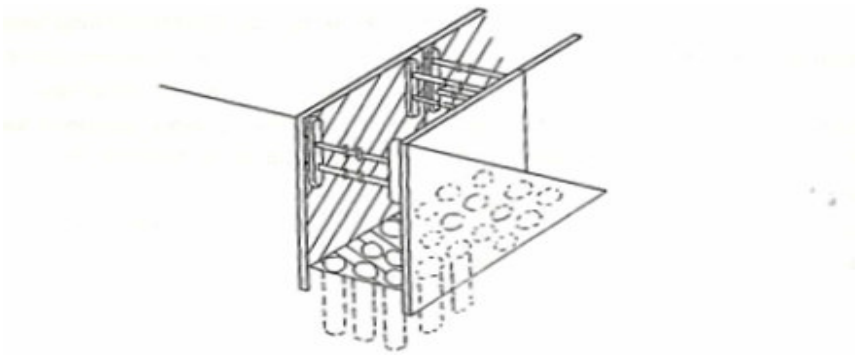
Kuva 2. Tuentaelementtejä (Sjöholm, 1992)

2.2.4 Syvästabilointi

Kuvassa 3 esitettyä syvästabilointia voidaan käyttää maan vahvistamiseen putkikaivantojen kaivun ja tuennan yhteydessä, jolloin kaivu voidaan suorittaa huomattavasti jyrkemmin luiskin kuin normaaliolosuhteissa. Vahvistettu kaivantoluiska voidaan kaivaa joko kaltevana tai lähes pystysuorana. Pystysuorat luiskat on kuitenkin yleensä ainakin kevyesti tuettava (pönkitettävä), vaikka luiskan vakavuus laskelmallisesti olisikin riittävä. Lisäksi massastabilointia voidaan käyttää maan vahvistamiseen esimerkiksi putkikaivantojen yhteydessä. Kuvassa 4 on esitetty yhdistetty tuenta syvästabiloinnilla ja ponttiseinällä tai tuentaelementillä. (Sjöholm, 1992)



Kuva 3. Syvästabilointipilareilla tuettu kaivanto (Sjöholm, 1992)



Kuva 4. Yhdistetty tuenta syvästabiloinnilla ja ponttiseinällä tai tuentaelementillä. (Sjöholm, 1992)

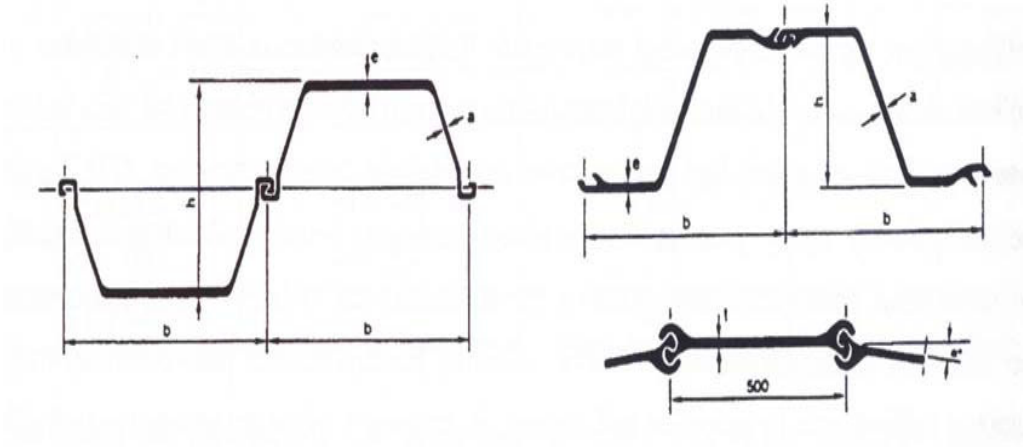
2.3 Teräsponttiseinät

2.3.1 Perinteiset teräspontit

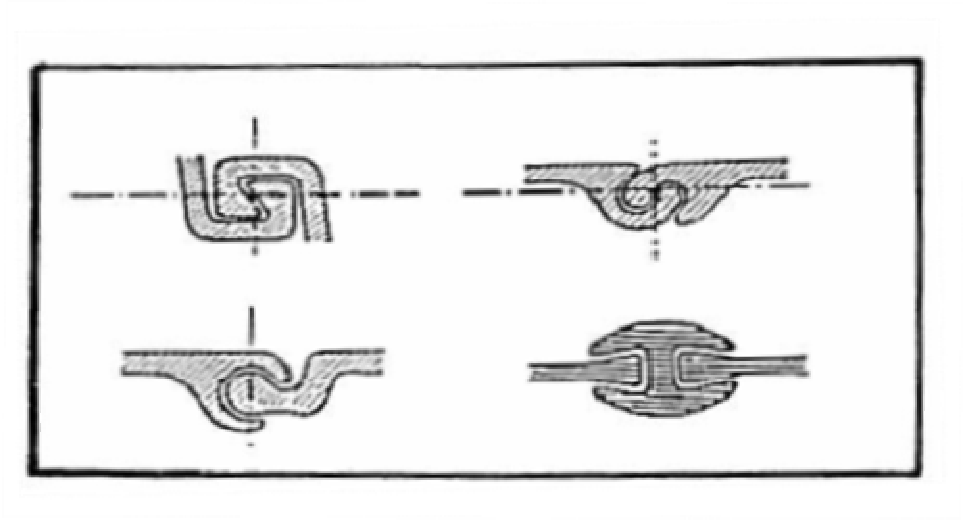
Teräsponttiseiniä käytetään rakennus- ja johtokaivantojen työnaikaiseen ja pysyvään tukemiseen. Teräsponttiseiniä voidaan käyttää kaikissa maakerrostumisessa. Kuitenkaan teräsponttiseinää ei saada lyötyä tiiviiseen tai kiviseen moreeniin tai tiiviiseen karkearakeiseen maakerrokseen. (Hjulgren, 1989)

Teräsponttiseinät ovat kehittyneet puupaaluseinistä. Ensimmäiset teräsponttiseinät tehtiin valuraudasta. Valuraudan hauraus hidasti ponttiseinien yleistymistä. Teräksen valmistusmenetelmien kehittyessä teräsponttiseinät yleistyivät noin sata vuotta sitten. Kuvassa 5 on esimerkkejä valssatuista Z- ja U-muotoisista ponttiprofii-

leista. Terästä profiloimalla saadaan suuria taivutusvastuksia, jolloin ponttiseinä toimii palkin tavoin taivutusta vastaan. Kuvan 6 mukaiset vahvat liitosrakenteet kykenevät välittämään suuria vetovoimia liitosten yli profiilien välillä. (Hakulinen, 2003)



Kuva 5. U-, Z- ja litteitä ponttiprofiileita (Hakulinen, 2003)

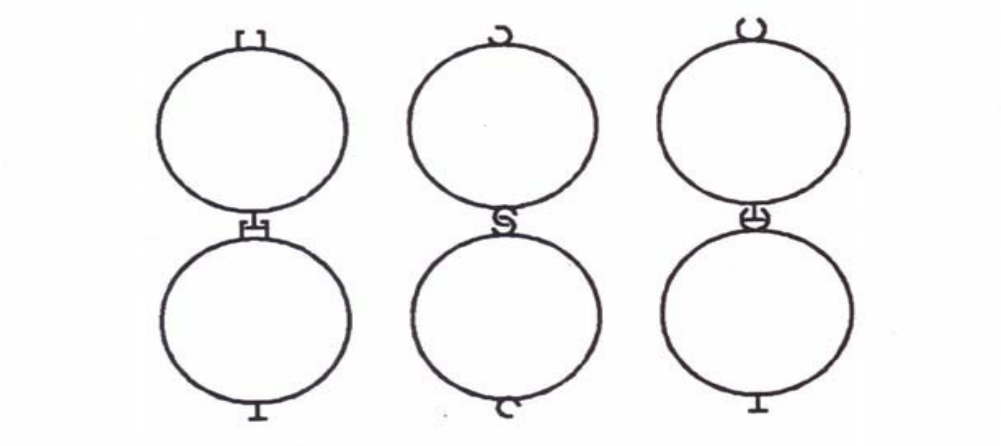


Kuva 6 Teräsponttilankkujen liitoksia (Rantamäki, 1996)

Ponttiprofiilien staattinen yhteistoiminta ei ole täydellistä, jos ponttiprofiilin ponttilukko on rakenteen neutraaliakselilla, kuten yleensä U-ponttiprofiileilla. Mitoituksessa on turvallista sallia vain osa täydestä taivutusvastuksesta. Suomessa suositellaan mitoituksessa käytettäväksi 75…95 % yleisimmin käytetyillä U-poikkileikkauksilla teoreettisesta taivutusvastuksesta. (Hakulinen, 2003)

2.3.2 Putkipontit

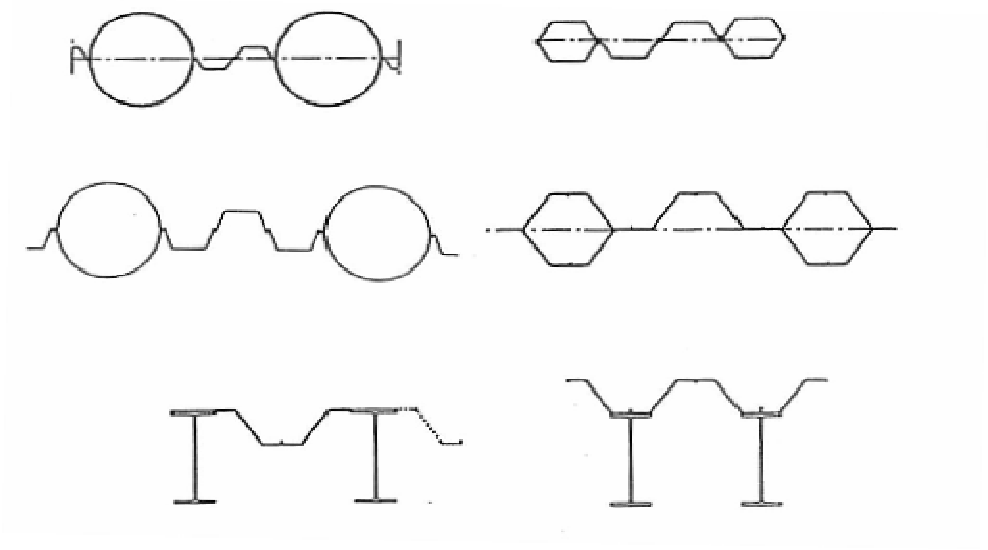
Putkiponttiseinä muodostuu putkipaaluista, jotka putkiin hitsattu ponttilukko yhdistää toisiinsa. Putkiponttiseinän etuina on suuri ja yksilöllisesti valittava taivutuskapasiteetti ja huomattava pystykuormien kestävyys (rakenteellinen kantavuus) ja välityskyky maahan (geotekninen kantavuus). Putkiponttiseinä on käyttökelpoinen rakenteissa, joilta vaaditaan suurta taivutuskestävyyttä ja hyvää nurjahduskapasiteettia. Tällaisia rakenteita ovat esimerkiksi rantalaiturit ja syvien kaivantojen tukiseinät ja perustukset. Kuvassa 7 on esitetty putkiponttiseinien poikkileikkauksia. (Hakulinen, 2003)



Kuva 7. Putkiponttiseinien poikkileikkauksia (Hakulinen, 2003)

2.3.3 Combi-seinät

Combi-seinä rakennetaan yhdistelemällä erilaisia rakenteita. Viime vuosina ovat erityisesti vesirakenteet kasvaneet niin syviksi, että niiden toteuttaminen on vaikeaa perinteisillä ponttiprofiiliratkaisuilla. Kuvassa 8 on esitetty Combi-seinä rakenteita.

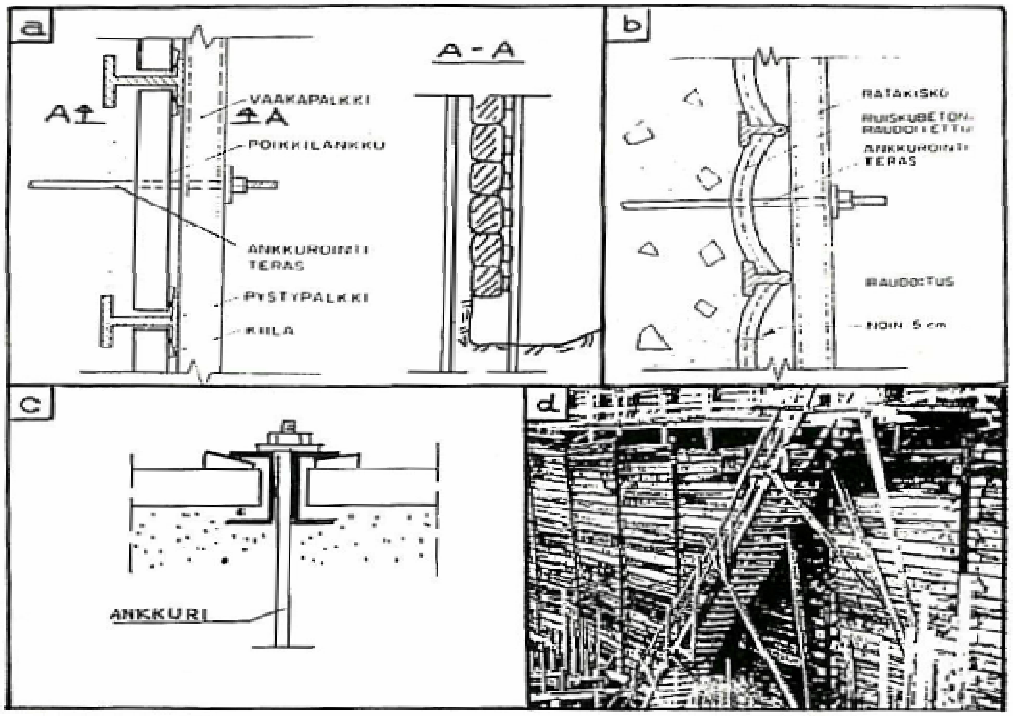


Kuva 8. Combi-seinä rakenteita (Hakulinen, 2003)

Liittorakenteita voidaan hyödyntää tehokkaasti putkipontti- ja combi-seinissä. Teräksellä suljetut poikkileikkaukset täytetään betonilla siten, että teräksen ja betonin välinen tartunta on riittävä yhteistoiminnan varmistamiseksi. Liittorakennepaalujen rakenteellinen kantavuus määritetään liittorakenteiden suunnitteluohjeiden mukaisesti ottaen huomioon paalujen mahdollinen korroosiovähennys. (Hakulinen, 2003)

2.4 Settiseinät

Settiseinä koostuu vaakasuorista settilankuista tai -parruista, jotka tuetaan päistään maahan upotettuihin pystysuoriin teräskannattajiin. Pystykannattajat sijaitsevat 1…4 m välein ja niissä käytetään leveälaippaisia I-palkkeja, kahden U-profiilin yhdistelmiä ja jopa vanhoja ratakiskoja. Pystykannattajat tuetaan kaivannon ulkopuolelle ankkuroimalla. Settilankkuina käytetään puulankkuja, parruja, vanhoja hirsiä ja joskus betonielementtejä. Settilankkujen tilalla voi erikoistapauksessa tulla kysymykseen kaareva, pystykannattajiin holvautuva, raudoitettu ruiskubetonikerros, joka tehdään vyöhykkeittäin kaivannon kaivun edistymisen mukaan. Kuvassa 9 on esitetty settiseinän rakennekuvat sekä valmis settiseinä. (Rantamäki & Tammirinne, 1996)



Kuva 9. Settiseinä a) settiseinän rakenne, b) ruiskubetonoitu settiseinä, c) settiseinän tukirakenteita ja d) valmis settiseinä. (Rantamäki & Tammirinne, 1996)

Rakenteesta johtuen settiseinä ei ole vesitiivis ja sitä voidaankin käyttää vain pohjaveden yläpuolella olevissa maakerroksissa. Tarvittaessa on pohjavettä alennettava. Seinän takana olevan maaperän on oltava siinä määrin koossapysyvää, että seinälankuille voidaan kaivaa seinän alareunaan settilankun paikalleen asettamisen vaatima tila. Toisinaan settiseinän teossa sattuu paikallisia maan sortumia kaivun jälkeen ennen settilankkujen paikalleenasettamista. Näistä paikallissortumista sekä settilankkujen taakse jäävästä tyhjätilasta johtuen settiseinän takana oleva maa löyhtyy ja painuu jonkin verran. Tämä seikka rajoittaa osaltaan settiseinien käyttöä. (Rantamäki & Tammirinne, 1996)

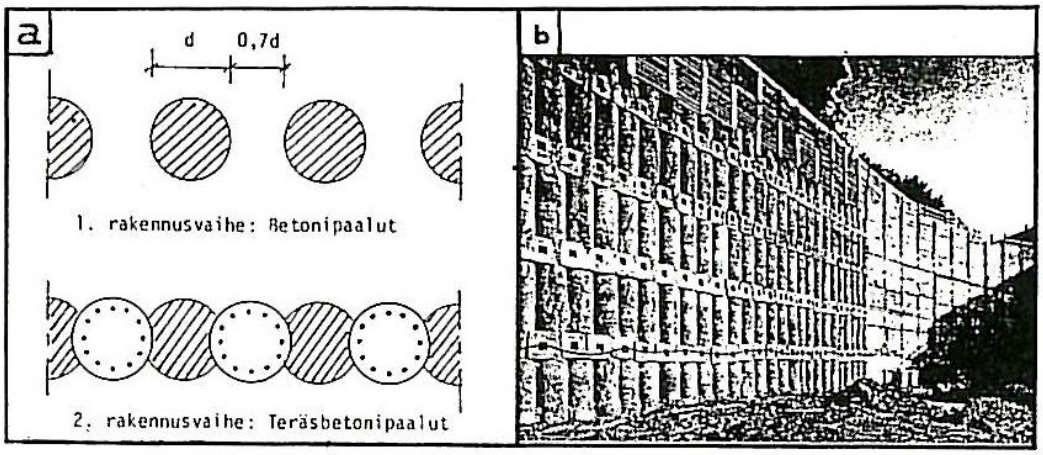
2.5 Patoseinät

Patoseinällä tarkoitetaan ennen peruskaivannon kaivua betonista maan sisään tehtyä pysyvää seinää, joka toimii myös peruskaivannon tukiseinänä. Patoseinä ulotetaan yleensä kallioon ja patoseinä toimii myöhemmässä vaiheessa pysyvästi rakennuksen ulkoseinien ja muiden kantavien rakenteiden perusmuurina. Patoseinä voidaan yleensä tehdä vesitiiviiksi, joten pohjaveden alentamista ei tarvita. Patoseinän rakentaminen ei myöskään aiheuta sanottavaa pohjaveden alentumista. Pa-

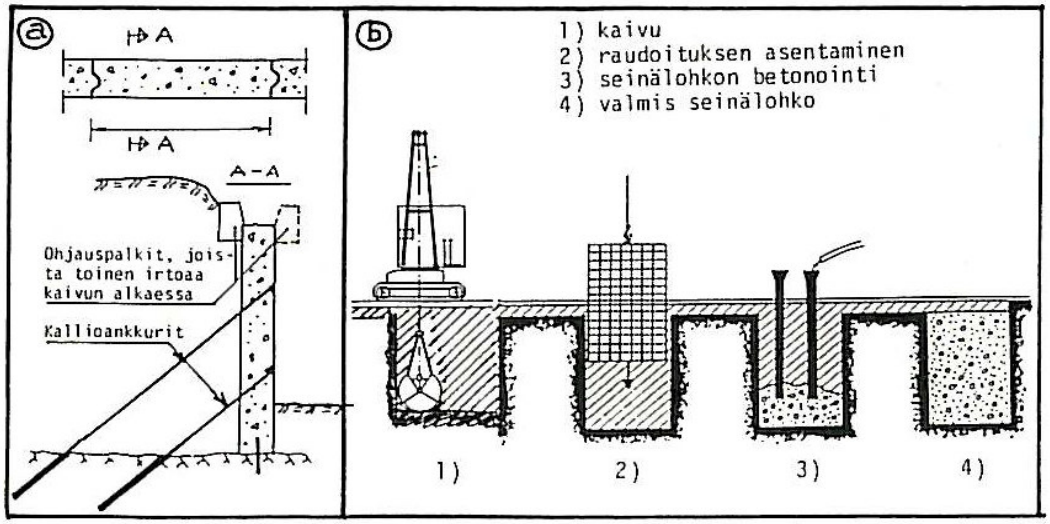
toseinät ankkuroidaan kaivannon ulkopuolelle. Patoseinä voidaan tehdä myös hyvin kovaan ja jopa kiviseen maahan. (Rantamäki & Tammirinne, 1996)

Koska patoseinä tukeutuu kallioon, on paksu ja lujasti ankkuroitu patoseinä lähes liikkumaton rakenne. Kun patoseinä lisäksi on vielä vesitiivis, se sopii erittäin hyvin kaupunkien ahtaitten keskusta-alueiden syvien rakennusperuskaivantojen tukiseinäksi, koska kaivannon läheisyydessä olevat entiset rakenteet eivät yleensä siedä ympäristömaaperänsä vähäistäkään liikkumista tai pohjaveden alentamista. Patoseinän rakentaminen on hidasta ja erikoiskalustoa vaativaa, joten patoseinä on aina kallis rakenne. Patoseinän pysyväiskäyttö parantaa kuitenkin oleellisesti seinän kannattavuutta. Patoseinien käyttöön päädytään kuitenkin lähes aina pakkotilanteessa, kun halvempien tukiseinärakenteiden käyttö ei jostain syystä ole mahdollista. (Rantamäki & Tammirinne, 1996)

Patoseinän yksityiskohtaisemman rakenteen ja rakentamistavan mukaan patoseinät jaetaan kahteen tyyppiin: paaluseinät ja kaivantoseinät. Paaluseinä muodostuu yhdensuuntaisista, maan sisään tehdyistä ja osittain toistensa sisään leikkautuneista betoni- ja teräsbetonipaaluista, joiden halkaisijat ovat 0,7…1,2 m. Kuvassa 10 on esitetty paaluseinän rakenne sekä valmis paaluseinä. Kaivantoseinä muodostuu maan sisään valetuista 0,5…0,8 m paksuisista ja usean metrin levyisistä seinälohkoista, jotka tehdään maan sisään yksi kerrallaan. Seinälohkot saumautuvat toisiinsa tiiviisti usein ponttiliitoksen tapaan. Kaivantoseinä tuetaan kaivannon ulkopuolelle ankkuroimalla. Kuvassa 11 on esitetty kaivantoseinä ja sen rakenne. Taulukossa 1 on tukiseinätyypin alustava valinta. (Rantamäki & Tammirinne,1996)



Kuva 10. Paaluseinä a) paaluseinän rakenne ja b) valmis paaluseinä (Rantamäki & Tammirinne, 1996)



Kuva 11. Kaivantoseinä a) kaivantoseinän rakenne ja b) kaivantoseinän rakentaminen (Rantamäki & Tammirinne, 1996)

Taulukko 1. Tukiseinätyypin soveltuminen erinäisiin olosuhteisiin ja vaatimuksiin. (Hartikainen, 1989)

Vaatimus tai olosuhdetekijä	Teräs-pontti-seinä	Setti-seinä	Kaivin-paalu-seinä	Kaivanto-seinä	Putkipaalu-seinä
Käyttötarkoitus					
- pysyvä tukiseinä	(X)	X	X	X	X
- työnaikainen tukiseinä	X	X			(X)
Vesitiiviysvaatimus					
- avovesiolosuhteet	X				(X)
- vesitiivis seinä	X		X	X	(X)
Pohjasuhteet					
- pehmeä tai vetelä	X		X	X	X
- kiinteä ja kivetön	X	X	X	X	X
- kova ja kivinen		(X)	X		(X)
Ympäristö ei saa liikkua tai painua	(X)	(X)	X	X	X
Tukiseinästä tulee osa lopullista rakennetta			X	X	X

X - seinä soveltuu yleensä käytettäväksi
(X) - seinää voidaan joskus käyttää

2.6 Muut kaivantotyypit

Uppokaivolla tarkoitetaan pohjatonta, kaivomaista ja asteittain korotettavaa seinärakennetta, joka upotetaan maahan uppokaivon omalla painolla tai kuormittamalla ja samanaikaisesti kaivon sisältä maata poistaen. **Paineilmakaivoja** käytetään vaikeissa kaivuolosuhteissa, jolloin kaivu- ja upotustyö olisi suoritettava kuivatyönä. Uppokaivosta muodostuu paineilmakaivo, kun uppokaivon alaosa muodostetaan 2,5…3 m korkuiseksi ilmatiiviiksi työkammioksi. Työkammiossa ylläpidetään ilman ylipainetta, mikä estää veden tunkeutumisen työkammioon. (Rantamäki & Tammirinne, 1996) **Tukimuureja** käytetään harvakseltaan kaivannon tuennoissa. Tukimuuria käytetään taustatäytön tukemisessa ja ovat pysyviä rakenteita. (Ravaska, 2007)

3. SUUNNITTELUN OHJEISTUS

3.1 Yleistä

Pysyvästi tai tilapäisesti tuetun kaivannon suunnittelun ja mitoituksen tarkoitus on löytää tukiseinäratkaisu, joka vastaanottaa riittävällä varmuudella siihen kohdistuvat kuormitukset ja on kokonaistaloudellinen. Mitoituksen lähtökohtana ovat suunnitellun rakenteen ja sen tekemisen edellyttämät kaivannon mitat sekä tukirakenteiden tilantarve kaivannon sisällä tai ankkuroidussa tukirakenteessa ankkuroiden tarvitsema tila kaivannon ympäristössä. Näiden lisäksi ympäristön asettamat rajoitukset sekä rakennuskohteen maapohja määräävät useimmiten kaivantotyypin ja tukemistavan. Tuetun kaivannon mitoitusta varten rakennuskohteesta on hankittava riittävän perusteelliset lähtötiedot. Lähtöselvityksen perusteella valitaan teknillisesti mahdolliset ja tarkoituksenmukaiset seinärakenteet lähempää tarkastelua varten. (Timonen, 1986)

3.2 Maaperä

Maaperän pohjatutkimuksilla selvitetään maakerrosrajat, -lajit, pohjavesipintojen tasot ja vaihtelut sekä kalliopinnan asema erilaisilla kairauksilla. Noudattamalla pohjatutkimusohjeita saadaan riittävät tiedot maanrakentamista varten. Ennen kairaamista on selvitettävä tontin maan alla olevat rakenteet kuten kaapelit ja putkijohdot. Pohjatutkimusten tavoitteena ovat:

- Rakennusten, piha-alueiden, piharakenteiden ja putkijohtojen sijainnin ja korkeustasojen määritys
- Kuivatusjärjestelmän valinta
- Perustustapavaihtoehtojen selvittäminen; edullisimpien vaihtoehtojen valinta
- Pohjarakennustöiden (täytöt, kaivut, tuennat, vahvistukset) toteutusvaihtoehtojen selvitys; edullisimman vaihtoehdon valinta
- Esirakentamisen (aikaa vaativat pohjanvahvistukset, kuten pystyojitus) toteutusmahdollisuuksien selvittäminen. (Ravaska, 2007)

3.3 Kuormitukset

3.3.1 Lähtökohdat

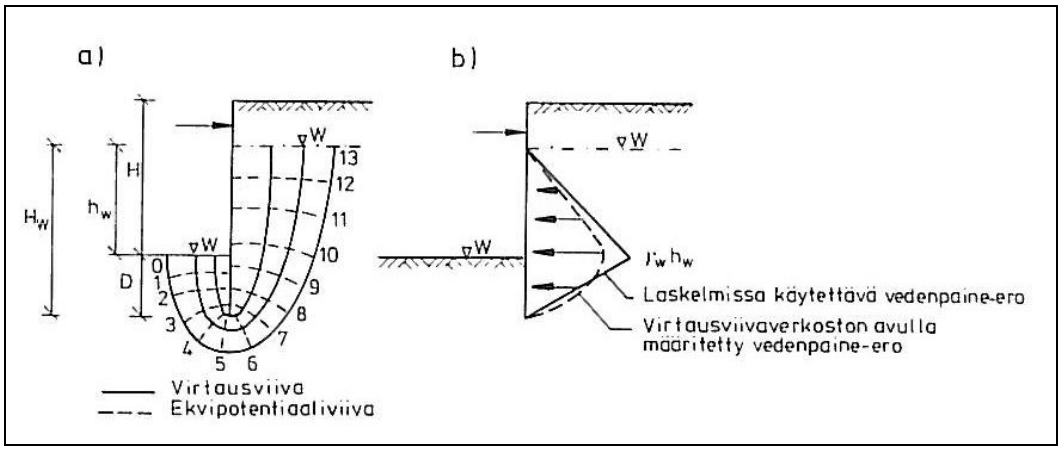
Tuetun kaivannon mitoitusta varten on määritettävä tukirakenteisiin kohdistuvat kuormitukset, joita ovat maanpaine, vedenpaine ja ulkoiset kuormat. Kuormat ja niiden aiheuttamat rasitukset rakennesysteemiin määritetään lähtötietoaineiston perusteella mitoitusmenettelystä riippuen käyttämällä joko osavarmuuksia tai kokonaisvarmuutta. Kuormitukset on määritettävä erikseen jokaiselle kaivuvaiheelle, ja mikäli kaivantoon tulee tehtäväksi erilaisia seinäratkaisuja tällöin myös kaivannon eri osille. Kuormista on tutkittava, mitkä voivat esiintyä samanaikaisesti ja mitkä ovat toistensa poissulkevia. Mitoitus on suoritettava eri kuormitusyhdistelmille ja ratkaisuksi valitaan vaarallisin tilanne. (Timonen, 1986)

3.3.2 Maanpaine

Maanpaineeseen lasketaan maasta (maan painosta) tulevan kuormituksen lisäksi kuuluvan maanpainetta kasvattavat tekijät (tärinä, taustatäytön tiivistäminen) sekä kuormat, jotka vaikuttavat tukirakenteeseen maanpaineen välityksellä. Maanpaineen lajit ovat aktiivipaine, passiivipaine ja lepopaine. (Timonen, 1986)

3.3.3 Vedenpaine

Maanpaineet pohjavesipinnan alapuolella lasketaan käyttäen maan tehokkaita tilavuuspainoja, jolloin vedenpaine otetaan erikseen huomioon. Vesipintojen korkeuseron ollessa pieni, laskelmissa tukiseiniin oletetaan vaikuttavan hydrostaattinen vedenpaine. Mikäli vesipintojen korkeusero on suuri, on otettava huomioon virtaustilan vaikutus vedenpaineeseen sekä samalla hydraulisen gradientin maan tehokkaaseen tilavuuspainoon aktiivi- ja passiivipuolella. Laskelmissa on ainakin otettava huomioon passiivipuolen tilavuuspainon pieneneminen. Kuvassa 12 on esitetty tukiseinään kohdistuva vedenpaine-ero virtaustilassa. (Timonen, 1986)



Kuva 12. Tukiseinään kohdistuva vedenpaine-ero virtaustilassa. a) Virtausviiva-verkosto ja b) laskelmissa käytettävä vedenpaine-ero (Hartikainen, 1989)

3.3.4 Tukirakenteeseen kohdistuvat muut kuormat

Jos tukirakenteita rasitetaan muilla, kuin edellä mainituissa kappaleissa esitetyillä kuormilla, on se aina otettava huomioon rakenteen mitoituksessa. Tällaisia tilanteita voi syntyä esimerkiksi tukirakenteen toimiessa telinerakenteena tai tukirakenteen ottaessa vastaan väliaikaisen liikennesillan kuormia. Mikäli mitoituksessa ei ole otettu huomioon asianomaisia kuormia, tukirakennetta ei saa käyttää tällaiseen tarkoitukseen. (Timonen, 1986)

3.4 Tukiseinän toimintatapa

3.4.1 Jaottelu

Tukiseinä muodostaa sitä ympyröivän maan kanssa yhtenäisen järjestelmän, jonka toiminta ja siten myös mitoitus riippuu tukirakenteen rakenteellisista sekä ympäröivän maan geoteknisistä ominaisuuksista. Tukiseinät jaetaan omiksi ryhmikseen tukitasojen määrän ja tukiseinän maahan kiinnittymisen perusteella. Tukiseinän tuentatyyppejä ovat:

- tukematon, maahan kimmoisesti kiinnitetty
- yhdeltä tasolta tuettu (ankkuroitu), maahan vapaasti tuettu
- yhdeltä tasolta tuettu (ankkuroitu), maahan kimmoisesti kiinnitetty
- usealta tasolta tuettu. (Timonen, 1986)

3.4.2 Tukemattomat ja yhdeltä tasolta tuetut tukiseinät

Tukemattomia ja yhdeltä tasolta tuettuja tukiseiniä käytetään useimmiten matalissa kaivannoissa, joissa lyöntisyvyys ei ole rajoitettu. Näiden seinien sivusiirtymät ja painumat ovat huomattavasti suurempia kuin usealta tasolta tuettujen tukiseinien yhteydessä. Etenkin tukemattoman seinän siirtymät ovat huomattavan suuria. (Timonen, 1986)

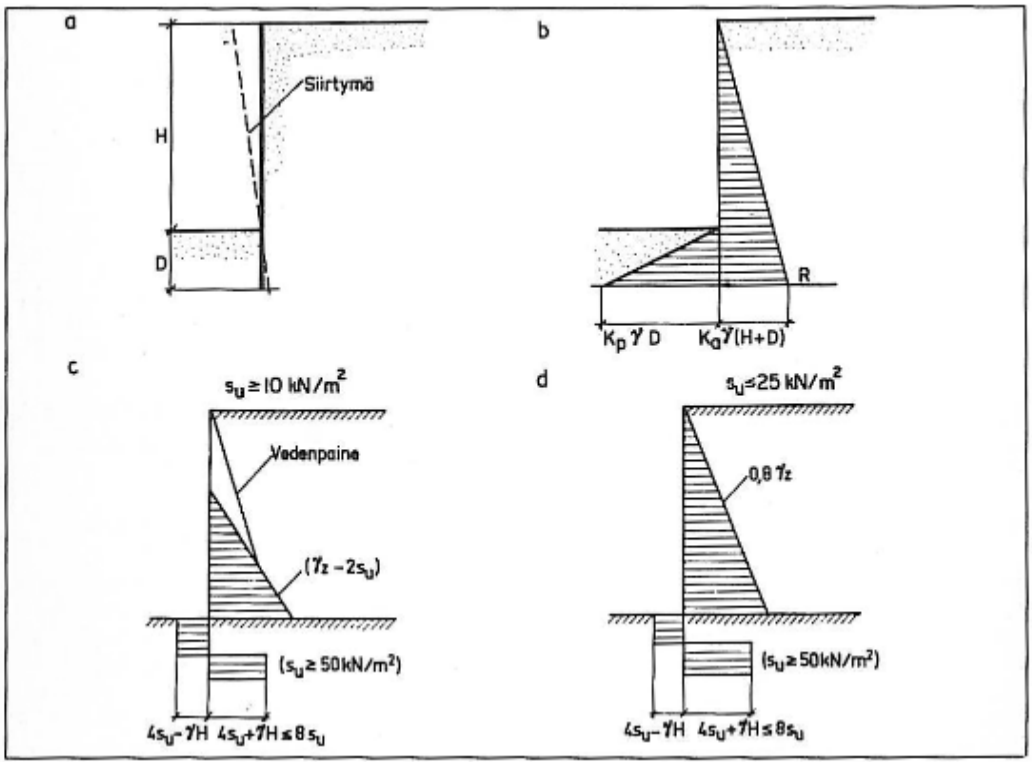
3.4.3 Usealta tasolta tuetut tukiseinät

Syvissä kaivannoissa, joissa lyöntisyvyys on rajoitettu, tukiseinät tehdään usein usealta (≥2) tasolta tuettuina. Lisäksi tuetuissa johtokaivannoissa seinät voidaan joutua tukemaan usealta tasolta. Usealta tasolta tuetun tukiseinän maanpaineen jakautuminen poikkeaa oleellisesti yhdeltä tasolta tuetusta tapauksesta. (Timonen, 1986)

3.5 Tukemattomien ja yhdeltä tasolta tuettujen tukiseinien mitoitus

3.5.1 Maanpaineen jakautuminen

Mitoituksessa maanpaineen oletetaan yleensä jakautuvan klassisen maanpaineteorian mukaisesti kolmionmuotoisesti. Pohjarakennusohjeiden mukaan yhdeltä tasolta tuetun jännitetyllä ankkurilla varustetun tukiseinän yhteydessä käytetään kuitenkin tasoitusmenettelyä. Kuvassa 13 on tukemattoman maahan kimmoisesti kiinnitetyn tukiseinän maanpaineen jakaantuminen. (Timonen, 1986)



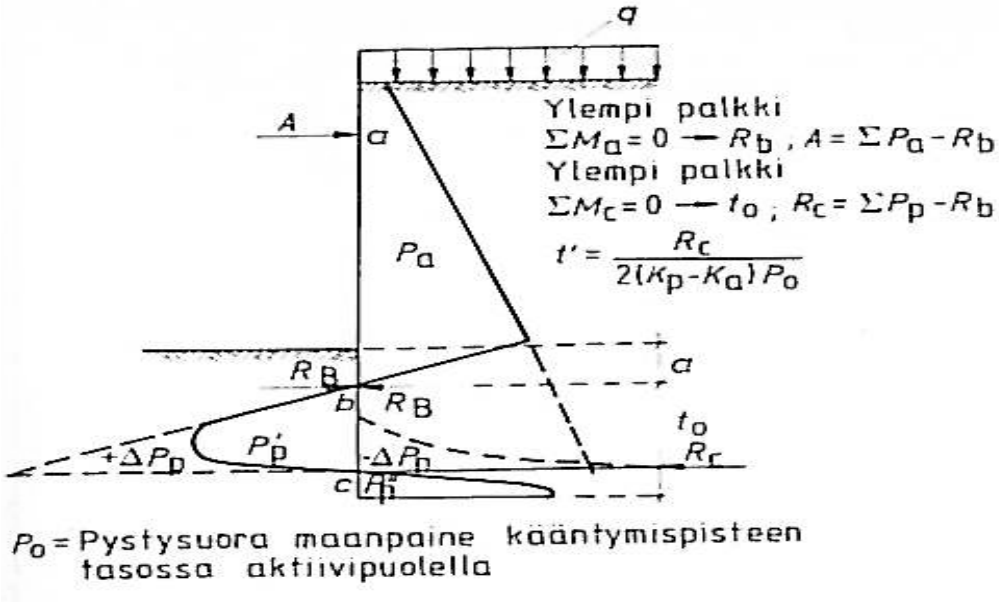
Kuva 13. Tukemattoman maahan kimmoisesti kiinnitetyn tukiseinän maanpaineen jakaantuminen. a) murtumismekanismi, b) kitkamaa, väliaikainen ja pysyvä rakenne, c) koheesiomaa, väliaikainen rakenne, d) koheesiomaa, pysyvä rakenne. (Timonen, 1986)

3.5.2 Lyöntisyvyys

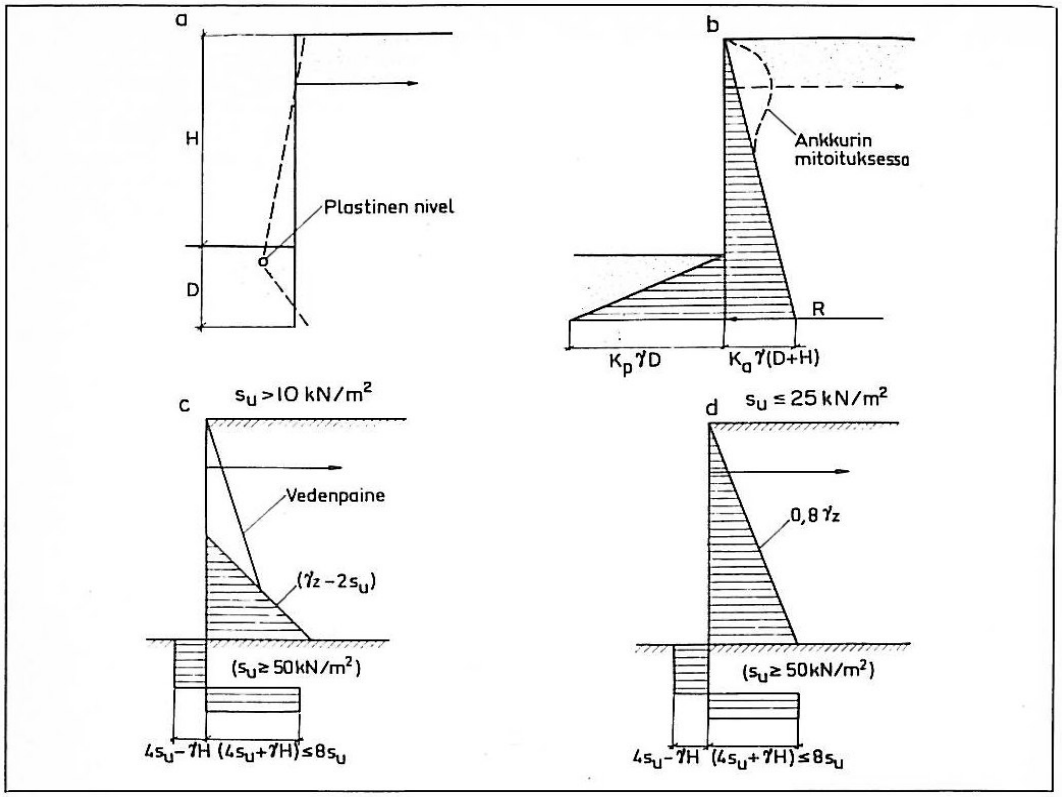
Tukiseinän lyöntisyvyys määritetään siten, että saavutetaan riittävä varmuus stabiliteetille ja ettei hydraulista murtumisvaaraa tai maapohjan nousemisen vaaraa esiinny. Mitoitus voidaan suorittaa joko osavarmuus- tai kokonaisvarmuusmenettelyä käyttäen. (Timonen, 1986)

3.5.3 Taivutusmomentti ja ankkurivoima

Alapäästään vapaasti tuetun tukiseinän nimellinen ankkurivoima voidaan laskea junttaussyvyyden määrittämisen jälkeen aktiivi- ja passiivipaineen erotuksena. Kuvassa 14 on esimerkki sijaispalkkimenetelmästä, jossa kimmoisesti kiinnitetyn tukiseinän ankkurivoima voidaan määrittää kuvassa esitetyn sijaispalkkimenetelmän ylemmästä palkista. Maksimitaivutusmomentti määritetään laskemalla pintamomentti leikkausvoiman nollakohdissa. Laskelmat on suoritettava jokaiselle kaivuvaiheelle. Kuvassa 15 on esitetty yhdeltä tasolta ankkuroidun maahan kimmoisesti kiinnitetyn tukiseinän maanpaineen jakaantuminen. (Timonen, 1986)



Kuva 14. Maahan kimmoisesti kiinnitetty tukiseinä, sijaispalkkimenetelmä (Timonen, 1986)



Kuva 15. Yhdeltä tasolta ankkuroidun maahan kimmoisesti kiinnitetyn tukiseinän maanpaineen jakaantuminen. (Timonen, 1986)

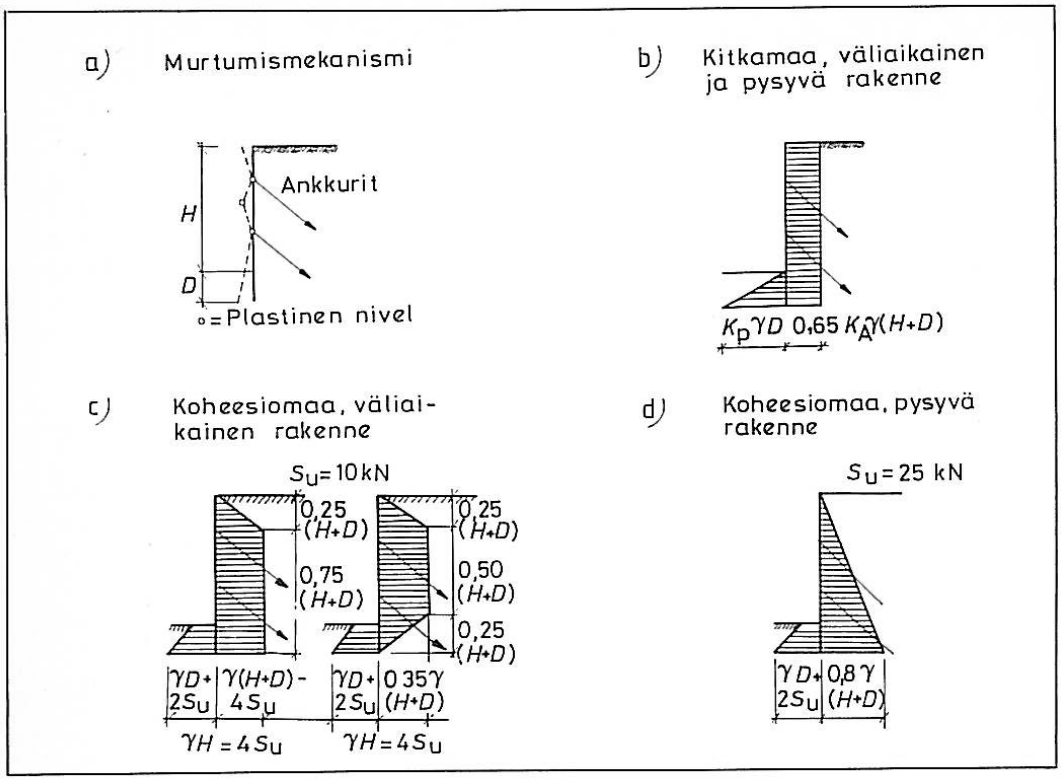
3.5.4 Pysty- ja kokonaisstabiliteetti

Tukiseinärakenteen pysty- ja kokonaisstabiliteetit on aina tarkistettava mitoituksen yhteydessä. Pystystabiliteetti tarkistetaan määrittämällä ankkurivoiman pystykomponentti sekä seinä- ja tukirakenteesta ja niihin kohdistuvista ulkoisista kuormista aiheuttava pystysuuntainen voima. Näiden summa on oltava pienempi kuin maan ja seinän välisten kitkavoimien pystykomponentti, jolloin myös aktiivipaineen oletetaan suuntautuvan vinosti ylöspäin. (Timonen, 1986)

3.6 Usealta tasolta tuetut tukiseinät

3.6.1 Maanpaineen jakautuminen

Maanpaineen jakautuminen usealta tasolta tuettujen tukiseinien yhteydessä ei suoritettujen mittausten mukaan noudata klassista maanpaineteoriaa, vaan maanpaine on yläosassa suurempi ja alaosassa pienempi kuin klassisen teorian maanpaineet. Tämän vuoksi maanpaineet tasoitetaan eri menetelmin mitoitusta varten. Kuvassa 16 on esitetty tasoitusmenettely. Tämä menetelmä ei ota huomioon kaivannon leveyden vaikutusta maanpaineisiin ja se soveltuneekin parhaiten leveiden kaivantojen mitoittamiseen etenkin koheesiomaissa. (Timonen, 1986)



Kuva 16. Usealta tasolta tuetun tukiseinän maanpaineen jakaantuminen (Timonen, 1986)

3.6.2 Kaivannon pohjan vakavuus

Kitkamaassa hydraulinen pohjan murtuminen voi tapahtua silloin, kun kaivu ulotetaan pohjavedenpinnan alapuolelle ja kaivanto pidetään kuivana pumppaamalla vettä pois kaivannosta. Varsinkin hieno hiekka ja hiekkainen siltti ovat alttiita hydrauliselle murtumiselle. Vedentulo kaivannon pohjasta silttisessä maassa on yleensä niin pieni, että pohjan murtumista ei aina voida ennustaa sen perusteella. On huomattava, että veden määrä ei aiheuta pohjan hydraulista murtoa, vaan pohjavedenpaine kaivannon pohjan tasolla. Pohjavedenpinnan tasoa on seurattava niin kauan, kun vaara pohjan hydrauliselle murtumiselle on olemassa. Jos **koheesiomaassa** olevan kaivannon pohjan lähellä on paremmin vettä läpäisevä maakerros, on kaivannon pohjan vakavuus hydraulista pohjan nousua vastaan arvioitava laskelmin. (Sjöholm, 1992)

3.7 Tukirakenteen mitoitus

3.7.1 Lähtökohdat

Maanpaine- ja muut kuormituslaskelmat voidaan tehdä joko osavarmuuksia tai kokonaisvarmuutta käyttäen. Laskettaessa kokonaisvarmuuksilla rakenteiden mitoitus tapahtuu rakennusaineille asian omaisissa normeissa tai ohjeissa sallittuja jännityksiä käyttäen. Osavarmuuksia käytettäessä myös rakennemateriaalin karakteristiset lujuusarvot jaetaan osavarmuuskertoimella. Itse tukirakenteet mitoitetaan rakenteiden mekaniikan mukaisesti. (Timonen, 1986)

3.7.2 Tukiseinäprofiilit, juoksut ja tuet

Kaivannon tuennassa käytettävät teräsrakenteet saadaan mitoittaa joko plastisuusteoriaa tai kokonaisvarmuuskerroinmenetelmää ja sallittuja jännityksiä käyttäen. Betonirakenteet ja puurakenteet mitoitetaan voimassa olevia ao. normeja käyttäen. Tukiseinäprofiilit mitoitetaan maksimitaivutusmomentille ja leikkausvoimille, jotka ovat harvoin mitoittava tekijä. (Timonen, 1986)

3.7.3 Ankkurirakenteet

Ankkurivoimat voidaan välittää maapohjaan erilaisten ankkurointirakenteiden välityksellä. Ankkurilaatassa kuormat välittyvät tukiseinän takana olevaan maahan laatan eteen syntyvän passiivipaineen välityksellä. Ankkurointi voidaan toteuttaa myös injektoitujen maa- ja kallioankkureiden avulla. (Timonen, 1986)

3.7.4 Ankkuripalkit

Ankkuripalkit on mitoitettava yleensä siten, että minkä tahansa yhden ankkurin pettäessä ankkuripalkin pitää vielä toimia riittävällä varmuudella. Tämä koskee erityisesti tilanteita, joissa ympäröivät rakenteet ovat riskialttiita tällaisille vahingoille. Ankkurirakenteet on suojattava työnaikaisilta iskuilta. Lisäksi etenkin pysyvien ankkurirakenteiden osalla on harkittava palosuojauksen tarpeellisuutta. (Timonen, 1986)

3.7.5 Tukiseinän alareunan tuet

Tukiseinän ulottuessa kallioon, joudutaan sen alareuna usein tukemaan. Jos kaivutaso on kallion pinnassa, riittää normaalisti pystysuorien terästappien asentaminen tukiseinän ja kalliopinnan saumakohtaan. Louhinnan ulottuessa tukiseinän alareu-

nan alapuolelle, seinän alareuna tuetaan usein sekä juuripalkeilla että kalliotapeilla ja juuripalkit ankkuroidaan kallioon pulteilla. Mahdollisuuksien mukaan normaalit tuet on pyrittävä sijoittamaan siten, että leikkausvoimat seinän ja kallion saumassa jäävät mahdollisimman pieniksi (Timonen, 1986)

3.7.6 Tuettujen kaivantojen mitoitusohjeet

Kaivannon suunnittelu ja mitoitus on esitetty tarkemmin mm. RIL 181-1989 Rakennuskaivanto-ohjeessa ja RIL 194-1992 Putkikaivanto-ohjeessa. Vuodesta 2010 alkaen mitoitus tehdään vain eurokoodien mukaisesti. Taulukkoon 2 on koottu tuettujen kaivantojen mitoitusohjeet kirjallisuudessa. Kuvassa 17 on tuetun kaivannon suunnittelun kulkukaavio sekä liitteessä 1 on kuvasarja kaivantojen murtumistavoista.

Taulukko 2 Tuettujen kaivantojen mitoitusohjeet kirjallisuudessa.

Ohjeet	RIL 166	RIL 181	RIL 194	RATO	Tiehal-linto	SRMK	EC
Varmuustaso	s.462-463	s.38-41	s.17	-	-	B3, taul. 4.1	7
Kuormat	-	-	-	s. 21-31	s.39-44	B1	1
Maan ja veden paineet	s.480-489	s.45-84	s.36-62	-	-	-	7
Kokonaisvaka-vuus	-	s.20-27	-	-	-	-	7
Tukirakenteen mitoitus	s. 489	-	s.64-72	-	-	-	7
Kuivanapito	s.496-499	-	s.78-85	-	-	-	7
Ankkkuripalkit, maa- ja kallioank-kurit	s. 503-514	s.85-91	-	-	-	-	7

RIL 166, RIL 166 Pohjarakenteet

RIL 181, RIL 181-1989 Rakennuskaivanto-ohje

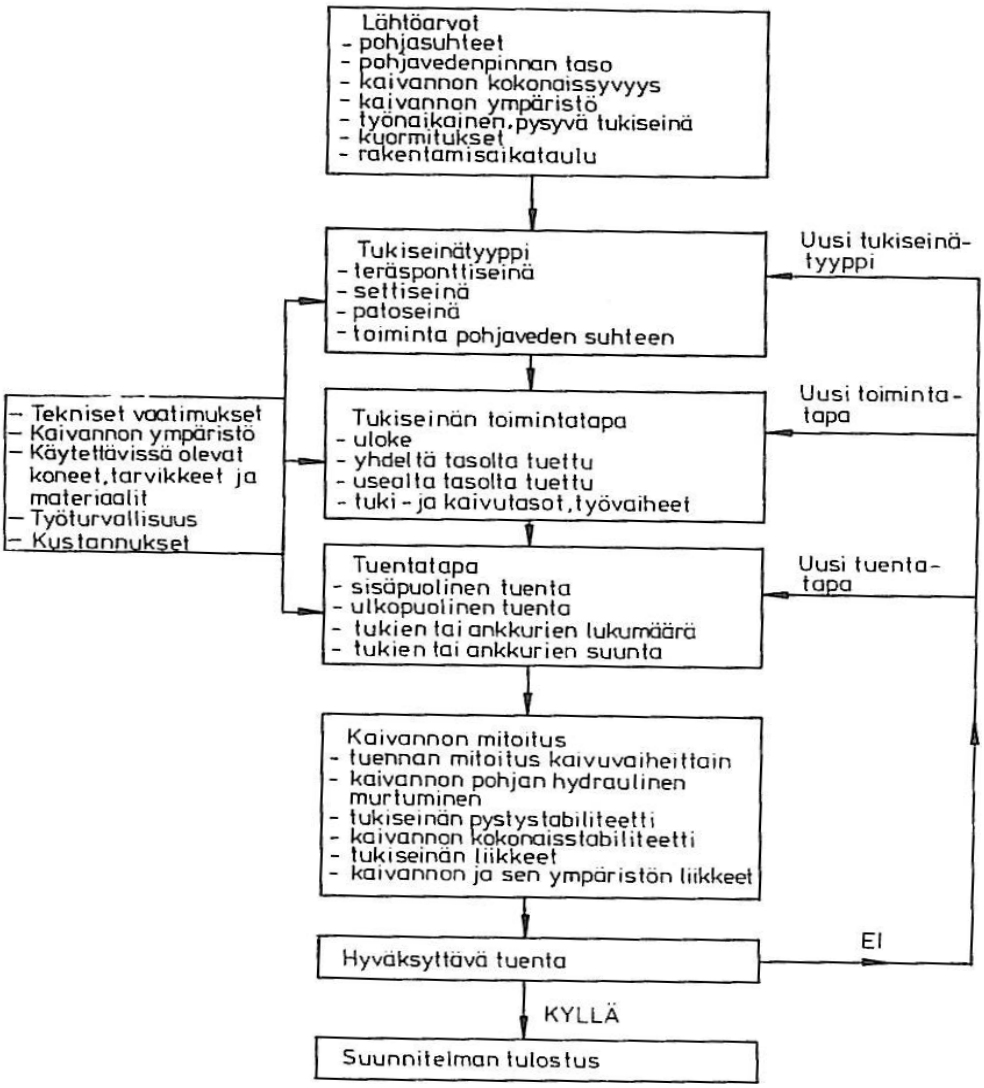
RIL 194, RIL 194-1992 Putkikaivanto-ohje

RATO, RATO, luku 3.8 Ulkoiset kuormat, Ratatekniset ohjeet, Ratahallintokeskus

Tiehallinto, Teiden pohjarakenteiden suunnitteluperusteet

SRMK, Suomen rakentamismääräyskokoelma

EC, Eurokoodi



Kuva 17. Tuetun kaivannon suunnittelun kulkukaavio (Hartikainen, 1989)

3.8 Kaivannon ympäristövaikutukset

Kaivannon kaivutyöt aiheuttavat aina maapohjaan jännitystilan muutoksen, jonka seurauksena maapohjassa syntyy siirtymiä. Siirtymien suuruus ja alueen suuruus, jossa siirtymiä tapahtuu, riippuvat pohjasuhteista, mitoituksessa käytetystä varmuustasosta sekä työtavasta ja työjärjestyksestä. Kaivannon rakentaminen on vaiheittainen prosessi, jossa maapohjan siirtymät kasvavat jokaisen kaivu- ja työvaiheen seurauksena. Ympäristössä maapohjan liikkeet ilmenevät maanpinnan ja rakenteiden painumisena ja vaakasiirtyminä. Siirtymätarkastelun kannalta kaikki rakennuspaikalla tapahtuvat toiminnot, jotka aiheuttavat maapohjan jännitystilan muutoksia, ovat merkityksellisiä. Tällaisia tekijöitä ovat:

- rakennusten perustusten vahvistaminen ja siirtäminen,
- vanhojen rakenteiden poistaminen,
- pohjavedenpinnan aleneminen,
- paalutuksen tai muun pohjarakennustyön aiheuttamat maan liikkeet,
- paalutuksen, muun pohjarakennustyön, louhinnan tai liikenteen aiheuttama tärinä,
- itse kaivannon rakentaminen ja
- kaivannon tukirakenteiden purkaminen. (Lotvonen, 1989)

Jokainen edellä mainituista toimenpiteistä luo maapohjaan pysyviä siirtymiä, joiden arvioiminen suunnitteluvaiheessa on vaikeaa. Vaikutuksia voidaan vähentää työjärjestyksellä. Tukirakenteen vaakasiirtymiin ja niistä aiheutuviin ympäröivän maapohjan siirtymiin vaikuttavat, tuennasta ja työtavasta riippuvat tekijät voidaan luetella seuraavasti:

- tukiväli vaaka- ja pystysuunnassa,
- tukitason alapuolisen kaivun suuruus ennen kuin tuki asennetaan,
- kerralla kaivetun tukemattoman kaivannon osan pituus,
- kaivun ja tukien asentamisen välinen aikaviive,
- tukien tehollinen jäykkyys, johon vaikuttavat esijännitys, liitoselimet ja niiden kokoonpuristuvuus, kiilaus, ankkuriosan jäykkyys ja siirtymät,
- tukiseinätyyppi, tukien poistaminen ja tukirakenteen purku (Lotvonen, 1989)

Ylimmän tukitason asentaminen mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, tukien esijännittäminen ja kaivusyvyyden rajoittaminen alimman tukitason alapuolella pitävät tukiseinän siirtymät pieninä. Koheesiomaissa tulee välttää yhdeltä tasolta tuettua tukiseinää, mikäli kaivannon kokonaisstabiliteetti ei ole riittävä. (Lotvonen, 1989)

4. MITOITUSOHJELMAT

4.1 GeoCalc

4.1.1 Yleistä tukiseinäohjelmasta

GeoCalc-tukiseinäohjelma perustuu palkki-jousimallin ratkaisemiseen elementtimenetelmällä. Palkkielementtinä käytetään kolmen vapausasteen 2D palkkielementtiä, kaivannon puoleinen maa mallinnetaan jousielementein ja taustan puoleiset kuormat (maanpaine, vedenpaine, ulkoiset kuormat) mallinnetaan kuormana. Kuormafunktio muutetaan solmukuormiksi elementtimalliin. Kuormien ja siirtymien välinen yhteys iteroidaan jokaisessa solmupisteessä (kaivu yksi jousi/"lapiollinen") kerrallaan. Kyseessä on palkki-jousimalli, jossa kaikki maanpinnan alapuoliset kerrokset ovat vaakasuoria. (Länsivaara, 2008)

4.1.2 Laskentateoria

Maanpaine siirtyvää rakennetta vastaan riippuu siirtymistä. Sen laskemiseksi tarvitaan lepopaine (alkutilanne), maanpaineen ääriarvot (aktiivi- ja passiivipaine) sekä paine-siirtymämalli niiden välille. Aktiivi- ja passiivimaanpaine lasketaan ohjelmassa Coulombin teorialla. Paine-siirtymä yhteyden mallinnus voidaan tehdä joko siirtymä (DCM) tai moduuli (MCM) pohjaisella mallilla. Molemmat hyödyntävät hyperbolista paine-siirtymä yhteyttä. (Länsivaara, 2008)

Ylikonsolidoituneissa maissa lepopainekerroin on yleensä suurempi kuin normaalikonsolidoituneissa. Kun kaivu etenee, lepopaine ei palaudu samassa suhteessa kuin pystyjännitys. Tämä voidaan ottaa huomioon joko kimmoteorian avulla tai Mayne&Kulhawyn esittämällä tavalla. (Länsivaara, 2008)

Pohjarakennusohjeissa, Rakennuskaivanto-ohjeissa ja monissa käsikirjoissa on esitetty maanpaineen kehittymiseksi tarvittavan tukirakenteen siirtymän suuruus eri tyyppisissä maalajeissa. DCM-mallissa voidaan hyödyntää näitä suositusarvoja. Mallin lähtötietoina on suoraan kyseinen suhteellinen siirtymä δ_{ya} ja δ_{yp}, minkä lisäksi käyttäjä määrittää millä suhteellisella osuudella ξ_{50a} ja ξ_{50p} 50 % maksimis-

ta saavutetaan. Jousen siirtymän laskemiseksi suhteellisen siirtymän arvoilla kerrotaan valinnaisesti joko tarkasteltavan kohdan etäisyys maanpinnasta tai käyttäjän antama karakteristinen pituus. 50 % maanpainemuutokseen tarvittavan suhteellisen siirtymän ξ_{50a} tai ξ_{50p} arvolla voidaan vaikuttaa jousen alkujäykkyyteen. Mitä pienempi parametrin arvo annetaan, sitä suurempi alkujäykkyys jousella on. Arvo 0,5 johtaa lineaariseen jouseen. MCM-mallissa (Modulus Controlled Model) jouset perustuvat samaan hyperboliseen funktioon kuin DCM- mallissa. Nyt jousien arvot lasketaan kuitenkin kokoonpuristuvuusmoduulin M avulla. (Länsivaara, 2008)

Pohjavedenpinta mallinnetaan ohjelmassa kaivusyvyyden funktiona erikseen tukiseinän molemmilla puolella. Vedenpaine lasketaan joko hydrostaattisena vedenpaine-erona tai olettamalla, että tukiseinän ali tapahtuu suotovirtausta. Vedenpaine virtaustilassa otetaan huomioon Rakennuskaivanto-ohjeessa esitetyllä yksinkertaistetulla tavalla. Pohjaveden virtauksen vaikutus maan tehokkaaseen tilavuuspainoon otetaan huomioon hydraulisten gradienttien avulla. Orsivesi lisää vedenpainetta ja aiheuttaa sitä pidättävän maakerroksen alapuolella kuormituslisäyksen. Hydraulinen murtuminen ja pohjan nousu huomioidaan Rakennuskaivanto-ohjeiden mukaisesti. GeoCalc-ohjelmassa voidaan antaa kaksi tasaista kuormaa ulkoisissa kuormitustapauksissa. Ensimmäinen on aktivoituna koko ajan ja toinen aktivoituu käyttäjän antamalla kaivusyvyydellä. Tasaisen kuorman tai keskitetyn kuorman aiheuttama maanpaine lasketaan Rakennuskaivanto-ohjeen mukaan. (Länsivaara, 2008)

4.2 Kaivannon tukiseinien mitoitusohjelma Tuki

Ohjelmaa voidaan käyttää tukemattoman tai 1-3 tasolta tuetun tukiseinän lyöntisyvyyksien, tukivoimien ja momenttien laskemiseen. Ohjelma voi myös optimoida tukitasojen paikat. Maanpaine lasketaan klassillisen maanpaineteorian mukaan. Maanpaineen suuruutta ja jakautumista voidaan säädellä korotuskertoimen C1 avulla. Laskentakaavat perustuvat artikkeliin Saarelma: Kaivannon geoteknillinen suunnittelun lähdeluetteloon (INSKO:n moniste Syvien rakennuskaivantojen tukeminen). Seinän jäykkyyden vaikutusta maanpaineeseen ei huomioida. Laskelmissa voidaan ottaa huomioon nauhakuormat, veden virtaus, kaltevat maan-

pinnat ja seinäkitka. Maanpaineet lasketaan osavarmuuskertoimia käyttäen. Tulostus saadaan graafisesti ja tekstimuodossa ja kaikki kaivuvaiheet lasketaan samalla kertaa. (Pylkkänen, 2005)

4.3 Plaxis

4.3.1 Johdantoa elementtimenetelmään

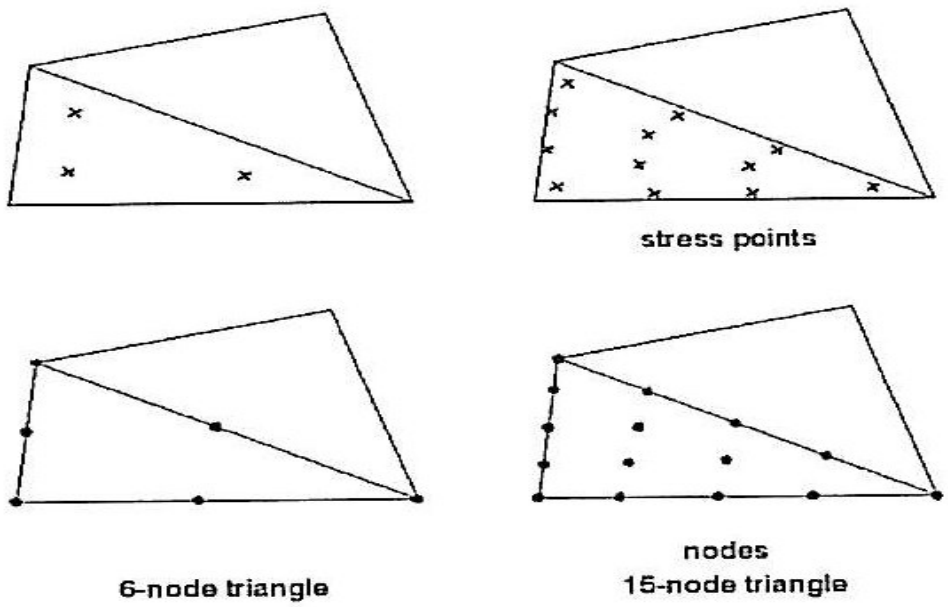
Elementtimenetelmä on yleinen differentiaaliyhtälöiden numeerinen ratkaisutapa. Menetelmässä ongelmaa kuvaava differentiaaliyhtälö ratkaistaan likimääräisfunktioiden avulla. Ongelman ratkaisua kuvaava likimääräisfunktio jaetaan osa-alueisiin, joita kutsutaan elementeiksi. Elementit liittyvät toisiinsa tietyissä pisteissä, joita kutsutaan solmuiksi. Elementit yhdessä solmujen kanssa muodostavat elementtiverkon, joka kuvaa diskreetisti alkuperäistä jatkuvaa ongelmaa. Elementtien avulla alkuperäinen ongelma saadaan pilkottua yksinkertaisiin osiin, jotka voidaan ratkaista tietokonelaskennan keinoin. On tärkeää ymmärtää, että yksinkertaiset elementit eivät yleensä edusta ongelman tarkkaa ratkaisua. (Lähteenmäki, 2008)

4.3.2 Elementtiohjelmat

Elementtiohjelmia käytetään geotekniikassa suunnittelussa ja tutkimuksessa. Elementtiohjelmien käytön sovelluskohteita on nykyään runsaasti myös geomekaniikassa. Näistä mainittakoon mm. kallio- ja maarakenteiden jännitys-siirtymäanalyysi kimmotilasta murtotilaan saakka, lämpö- ja suotovirtaus ja konsolidaatio sekä näiden yhdistelmille. (Vepsäläinen, 2008)

4.3.3 Yleistä Plaxis-ohjelmasta

Käyttäjä voi valita 6-solmuisen tai 15-solmuisen elementin. 15-solmuinen kolmikulmainen elementti on oletusarvona laskennassa. 15-solmuinen elementti koostuu 15 solmusta ja 6-solmuinen kolmio määräytyy kuudesta solmusta. Kuvassa 18 näkyy solmujen jakautuminen elementeille. Äärellisessä elementtimenetelmässä siirtymät lasketaan solmujen kohdalla. Jännitykset ja rasitukset sen sijaan lasketaan yksittäisissä Gaussin integrointipisteissä, jotka jakautuvat esimerkiksi kuvassa 18 näkyvällä tavalla. (Brinkgreve & Broere, 2004)



Kuva 18. Solmujen sijainnit ja jännityspisteet (Brinkgreve & Broere, 2004)

4.3.4 Mallit ja niiden soveltavuudet

Mohr – Coulomb-malli (MC) on lineaarinen, plastinen ja elastinen malli. Tämä malli antaa ensimmäisen kertaluvun arvion maaperän käyttäytymisestä. Jointed Rock-malli (JR) on anisotrooppinen, elastinen ja plastinen malli. Se ottaa huomioon erityisesti kerrostuneen maaperän ja siihen liittyvät murtumissuunnat. Hardening Soil- malli (HS) on kehittynyt malli maan käyttäytymisen mallintamiseen. MC-malli on näistä yksinkertaisin; siinä on viisi parametria: kimmomoduuli (E) ja Poissonin luku (υ) maan elastisuudelle; kitkakulma (φ) ja koheesio (c) plastisuudelle ja (ψ) dilataatiokulmalle. (Brinkgreve & Broere, 2004)

Edelliseen verrattuna HS-mallissa kuvataan maan jäykkyyttä paljon tarkemmin käyttämällä kolmea eri parametria: kolmiaksiaalinen kuormitusjäykkyys (E_{50}), kolmiaksiaalinen kuormaamaton jäykkyys (E_{ur}) ja ödometrikokeella mitattu kuormitusjäykkyys (E_{oed}). HSsmall-malli on muunnelma edellisestä. Se ottaa huomioon kasvaneen jäykkyyden, kun muodonmuutokset ovat pieniä. Mukaan otetaan jännityshistoriaparametrit ja kaksi uutta parametria: jännitysleikkausmo-

duuli (G_0) ja jännitystaso ($\gamma_{0.7}$), jossa leikkausmoduuli on redusoitunut 70 %:in pienen rasituksen leikkausmoduulista. (Brinkgreve & Broere, 2004)

HS-malli soveltuu kaikille maalajille, mutta se ei selitä viskoosivaikutuksia, juoksevuuksia ja jännityksen laukeamisia. Soft Soil-malli (SS) on Cam-Clay tyyppinen malli, mikä on tarkoitettu primaarikokoonpuristamista varten lähinnä normaalikonsolidoituneille savisille maatyypeille. Modified Cam Clay-malli (MCC) on hyvin tunnettu kansainvälisessä maanmallinnuskirjallisuudessa. Tätä käytetään pääasiassa mallintamaan lähellä normaalikonsolidaatiota olevia saven tyyppisiä maalajeja. (Brinkgreve & Broere, 2004)

HS-malli soveltuu kaikille maalajeille ja kaiken tyyppisen mallintamiseen. Malli soveltuu erityisen hyvin tilanteisiin, joissa on sekä kuormitusta että kuormien palautusta ja uudelleen kuormitusta (esim. ankkuroidut tukiseinät). SS- ja SSC-mallit soveltuvat pehmeälle, normaalikonsolidoituneelle tai vähän ylikonsolidoituneelle koheesiomaalle ja monotonisesti kasvaville kuormituksille. Molempien mallien käyttöä varten tarvitaan sekä kolmiakselikokeita että ödometrikokeita. (Vepsäläinen, 2004)

5 MÄÄRÄYKSET, LAIT JA OHJEET

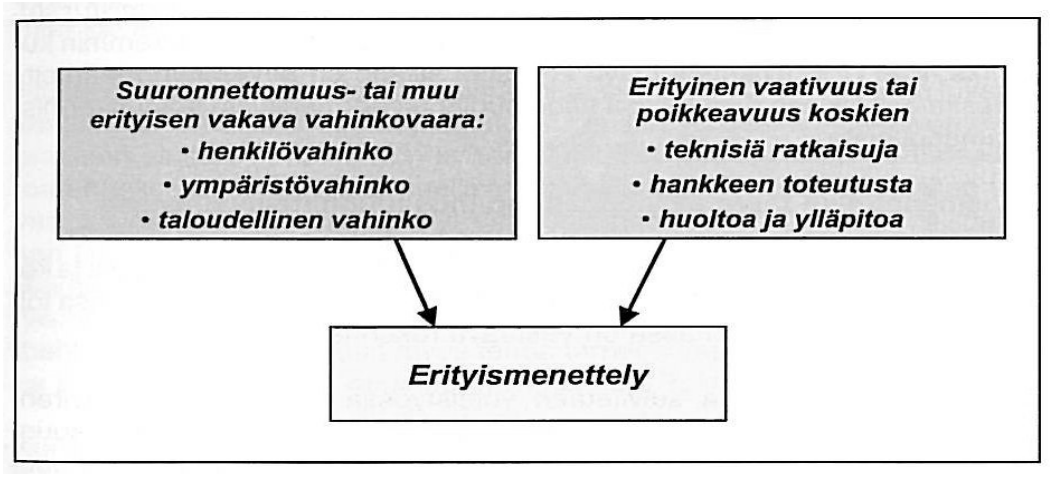
5.1 Määräykset

5.1.1 Rakenteellisen turvallisuuden erityismenettely

Rakennushankkeessa on noudatettava erityismenettelyä, jos rakennuksen suunnittelussa, rakentamisessa tai käytössä tapahtuvasta virheestä voi seurata suuronnettomuuden vaaraa. (RakMK A1, 3.2.1 Määräys).

Suuronnettomuudeksi katsotaan tilanteet, joissa mahdollisen onnettomuuden vaikutuksia henkilövahinkojen taikka ympäristöön tai omaisuuteen kohdistuvien vahinkojen määrän taikka onnettomuuden laadun perusteella on pidettävä erityisen vakavana. Arvioitaessa rakennushankkeen riskillisyyttä rakennuksen käyttäjille ja ympäristölle aiheutuvien seuraamusten perusteella lähtökohtina ovat henkilöturvallisuus sekä edellä mainitut muut perusteet. Rakennuksen käyttäjämäärän kasvaessa kasvavat yleensä riskit ja niiden hallinta vaikeutuu. Tämä merkitsee tehtävien vaativuustason nousua. Liitteessä 5 on esitetty RakMK A1, 3.2 erityismenettely kokonaisuudessaan. (RakMK A1, 3.2.1 Määräys, ohje)

Kun rakennushanke on erityisen vaativa, tulee Suomen rakentamismääräyskokoelman osan A1 (Rakentamisen valvonta ja tekninen tarkastus, Määräykset ja ohjeet 2006) mukaan noudattaa rakenteellisen turvallisuuden erityismenettelyä. Erityismenettely sisältää ne keinot, joilla varmistetaan rakenteiden osalta turvallinen ja laadukas lopputulos sekä toteutuksessa että käyttövaiheessa. Erityismenettelyä noudatetaan RakMK A1.n mukaan hankkeissa, joissa on suuronnettomuuden vaaraa. Kuvassa 19 on esimerkkejä erityismenettelyyn kuuluvista hankkeista. (Åström, 2007)



Kuva 19. Erityismenettelyyn kuuluvat hankkeet. (Åström, 2008)

Erityismenettelyn toimenpiteet liittyvät rakennuttamiseen, suunnitteluun, rakentamiseen, tuoteosien valmistukseen, rakennuttajan ja viranomaisen valvontaan ja tarkastukseen, käyttöön, ja ylläpitoon sekä hankkeen tiedonhallintaan. Rakennushankkeeseen ryhtyvän (rakennuttajan) tulee huolehtia siitä, että erityismenettelyä noudatetaan määräysten mukaisesti. (Åström, 2007)

5.1.2. Turvallisuuslaki 1 (VNp 274/94 36 § 1 mom.)

Kaivuutyö on tehtävä turvallisesti ottaen huomioon maan laatu, luiskan kaltevuus ja kuormitus sekä vedestä ja liikenteen tärinästä aiheutuvat vaaratekijät. (Ratu 1183-S, 2008)

Ohje 1: kaivantosuunnitelma

Kaivantosuunnitelman sisältö ja kaivannon suunnittelussa huomioon otettavat asiat on esitetty mm. Suomen rakentamiskokoelman osassa B3 Pohjarakennus, Rakennuskaivanto-ohjeessa (RIL 181-1989) ja Putkikaivanto-ohjeessa (RIL 194-1992). Lisäksi on standardisoitu menetelmiä kaivantosuunnitteluun SFS-käsikirjassa 173-1. (Ratu 1183-S, 2008)

5.1.3 Turvallisuuslaki 2 (VNp 274/94 36 § 2 mom.)

Milloin sortuma saattaa aiheuttaa tapaturman, on kaivannon seinämä kaivettava kaltevaksi, porrastettava tai tuettava. (Ratu 1183-S, 2008)

Ohje 1: kaivutyön turvallisuus

Kaivannon kaivaminen turvallisesti tähtää työturvallisuuden, ympäristön ja sivullisten turvallisuuden riittävään huomioon ottamiseen. Kaivannon turvalliseen tekemiseen liittyviä ohjeita on esitelty mm. Pohjarakennusohjeissa, Rakennuskaivanto-ohjeissa ja Putkikaivanto-ohjeissa. (Ratu 1183-S, 2008)

Ohje 2: sortuman estäminen

Sortumat johtavat usein vakaviin työtapaturmiin. Matalissa kaivannoissa sortuma estetään luiskien avulla. Poikkileikkaus valitaan siten, että saavutetaan riittävä varmuus luiskien sortumista ja pohjamaan heikkojen kerrosten kautta tapahtuvaa laaja-alaista sortumista vastaan. Esimerkiksi Rakennuskaivanto-ohjeessa on esitetty luiskatun kaivannon geotekninen mitoitus. (Ratu 1183-S, 2008)

Ohje 3: kaivannon luiska karkearakeissa maassa

Helpoissa pohjarakennuskohteissa voidaan apuna käyttää ohjeellisia luiskien kaltevuuksia. Esimerkiksi putkikaivanto-ohjeessa on esitetty taulukoituna hiekkaisen siltin, hiekan, soran ja moreenin suositellut luiskakaltevuudet. Yli 3 m syvien kaivantojen vakavuus on kuitenkin aina tarkistettava laskelmin. (Työterveyslaitos, 2008)

Ohje 4: kaivannon luiska koheesiomaassa

Myös koheesiomaalajeista on Putkikaivanto-ohjeessa taulukko, jossa koheesiomaat on jaettu kolmeen ryhmään suljetun leikkauslujuuden perusteella. (Työterveyslaitos, 2008)

Ohje 5: kaivannon luiska kerroksellisessa maassa

Luiskan kaltevuus kerroksellisessa maassa tulee määrittää kullekin kerrokselle erikseen ottamalla huomioon esimerkiksi pohjaveden alapuolella maakerrosten huuhtoutumisen mahdollisuus. Jäätyneessä maassa roudan syvyys saattaa olla jopa 3 m. Routaa voidaan käyttää hyväksi etenkin jos kaivetaan jo jäätynyttä maata. Lohkareet, kivet ja maakimpaleet luiskissa ovat kuitenkin silmällä pidettäviä riskitekijöitä. (Työterveyslaitos, 2008)

Ohje 6: kaivannon luiskan porrastaminen

Kaivannon seinän porrastaminen on luiskaamisen erikoistapaus. Sen käyttö edellyttää runsaasti vapaata tilaa ympäristössä, joten rakennetuilla alueilla porrastamalla luiskattuja kaivantoja ei juuri esiinny. (Työterveyslaitos, 2008)

Ohje 7: kaivannon seinän tukeminen

Kaivanto joudutaan tukemaan, mikäli luiskaaminen on epätaloudellista suurten massamäärien vuoksi, luiskien vaatimaa tilaa ei ole käytettävissä tai varmuutta sortumista vastaan ei rakennuspaikalla muuten saavuteta. Tukirakenne voi olla joko tilapäinen tai pysyvä, jolloin tuennasta tulee osa perustusrakennetta. (Työterveyslaitos, 2008)

5.1.4 Turvallisuuslaki 3 (VNp 274/94 36 § 3 mom.)

Erityisiin toimenpiteisiin sortumisen aiheuttaman tapaturman vaaran välttämiseksi on ryhdyttävä sateen, kuivumisen tai roudan sulamisen johdosta. Samoin on toimittava silloin, kun kaivetaan löysää maata tai 2,0 metriä syvempää, kapeaa kaivantoa tai kun kaivannon yhteydessä tai läheisyydessä suoritetaan tärinää aiheuttavaa työtä taikka kun kaivantoon vaikuttaa raskas ajoliikenne. Tehtäessä kaivutyötä rakennuksen tai muun rakennelman alla tai vieressä on samoin erityisesti ryhdyttävä ennalta riittäviin tukitoimenpiteisiin sortumisen estämiseksi. (Ratu 1183-S, 2008)

Ohje 1: erityiset toimenpiteet

Erityisillä toimenpiteillä ymmärretään mm. huolelliseen suunnitteluun, huolelliseen rakentamiseen ja rakentamisen valvontaan sekä jatkuvaan tarkkailuun liittyviä toimenpiteitä. Pohjarakennusohjeiden mukaan työtä ja ympäristöä tarkkaillaan ja valvotaan ja työn aikana pidetään pöytäkirjaa. Rakennuskaivanto-ohjeiden mukaan kaivannon suunniteltu toiminta varmistetaan mm. valvomalla työjärjestystä, työtapoja ja materiaaleja sekä suorittamalla tarkkailumittauksia. Suunnitellusta poikkeavat tarkkailun tulokset on otettava huomioon esimerkiksi mitoittamalla rakenne uudestaan, vahvistamalla tukirakenteita tai muuttamalla työtapaa. Putkikaivanto-ohjeen mukaan luiskan liikkeitä, kaltevuuden muutoksia ja tukirakenteita

tarkkaillaan esimerkiksi erillisen valvonta- ja mittausohjelman mukaan. (Ratu 1183-S, 2008)

Ohje 2: maankosteus

Maan kosteustilan muutos vaikuttaa luiskissa tapahtuviin liikkeisiin. Routivan maan sulaessa huokosvedestä syntyvä ylipaine voi aiheuttaa sortuman. Routaantuva maa työntää luiskasta ulos kiviä ja muita vierimisalttiita esineitä. Maan kuivuminen aiheuttaa vetohalkeamia kaivannon reunalle ja tukirakenteiden löystymistä. (Ratu 1183-S, 2008)

Ohje 3: riskitekijät

Riskitekijät kuten löyhä maa, kaivannon yli 2,0 m syvyys, kapeus, tärinä, ja raskas ajoneuvoliikenne tulee ottaa huomioon turvallisuussuunnittelussa. (Ratu 1183-S, 2008)

Ohje 4: rakennusten läheisyys

Ympäröivissä rakenteissa ja rakennuksissa ei yleensä sallita painumista tai siirtymistä aiheutuvia vaurioita. Rakennusten läheisyys lisää tarvetta tarkempaan kaivannon suunnitteluun ja työnaikaiseen seurantaan. Jos kaivannon etäisyys rakennuksesta on pienempi kuin kaivannon syvyys, tulee rakennuksen perustamistapa selvittää huolella ja kaivutapa suunnitella yhdessä geoteknisen asiantuntijan kanssa. (Ratu 1183-S, 2008)

5.1.5 Urakoitsijan velvollisuusmääräys (VNp 629/1994)

Yhteisellä rakennustyömaalla on pääurakoitsijan asemassa olevan työnantajan tai, jos sellaista ei ole, rakennushanketta johtavan tai valvovan rakennuttajan tai muun henkilön huolehdittava velvoitteista sekä siitä, ettei työstä aiheudu vaaraa työmaalla työskenteleville eikä muillekaan työn vaikutuspiirissä oleville henkilöille. (Koski & Mäkelä, 2006)

Työmenetelmien, -välineiden ja työympäristön suunnittelulla varmistetaan, että työ on turvallinen tehdä eikä aiheuteta sairastumisen vaaraa. Työmaan suunnitteluvaiheessa on tehtävä kattavasti työmaan vaarojen tunnistus, arvioitava riskit ja

suunniteltava tarvittavat toimenpiteet. Toimenpiteillä pyritään siihen, että vaarojen syntyminen estetään, vaaralliset työt poistetaan tai korvataan vähemmän vaarallisella, toteutetaan yleisesti vaikuttavat työsuojelutoimenpiteet ennen yksilöllisiä sekä otetaan huomioon tekniikan ja muiden käytettävissä olevien keinojen kehittyminen. Työn kuormitustekijä tulee tunnistaa ja välttää. Työnantajan ja työntekijän on toimittava yhteistyössä työturvallisuuden ylläpitämiseksi ja parantamiseksi. Turvallisuusasioita pitää käsitellä asianmukaisesti ja riittävän ajoissa työnantajan ja työntekijän tai heidän edustajansa kanssa. (Koski & Mäkelä, 2006)

5.1.6 Työmaan työturvallisuuden tärkeimmät tehtävät

Yhteisellä työmaalla on jokaisella osapuolella työturvallisuusvelvollisuuksia. Osapuolten on toimittava yhteistyössä ja tiedotettava avoimesti työturvallisuuteen liittyvistä havainnoista, toimenpiteistä, sekä toimintojen yhteensovittamisesta. Pääasiallista määräysvaltaa käyttävän työnantajan (päätoteuttajan) tulee yhteisellä työmaalla huolehtia:

- jokaiselle työnantajalle ja tekijälle annetaan työturvallisuuteen liittyvät toimintaohjeet, tarpeelliset tiedot työn vaaroista, työpaikan palontorjunnasta, ensiavusta ja näihin tehtäviin nimetyistä henkilöistä
- kaikkien urakoitsijoiden toimintojen yhteensovittamisesta
- työmaaliikenteen ja liikkumisen järjestelyistä
- työmaan yleisestä turvallisuuden ja terveellisyyden edellyttämästä järjestyksestä ja siisteydestä
- muusta työmaan yleissuunnittelusta
- työolosuhteiden ja työympäristön yleisestä turvallisuudesta ja terveellisyydestä (Koski & Mäkelä, 2006)

Yhteisen työmaan turvallisuusvastuut ja –tehtävät on pääosin määritelty lainsäädännössä, mutta niitä täsmennetään osapuolten sopimuksilla. Taulukoissa 3 ja 4 on rakennustyömaan työturvallisuuteen liittyviä tehtäviä ja tahoja. Liitteessä 2 on Turvallisuusasiat kaivutöiden suunnittelussa -lomake. (Koski & Mäkelä, 2006)

Taulukko 3. Rakennustyömaan aloitukseen liittyviä työturvallisuustehtäviä (Koski & Mäkelä, 2006)

Ilmoitukset ja valinnat

Tehtävä	Tekijät	Tulos	Erityistä
Ilmoitus työsuojeluviranomaisille	Päätoteuttaja	Ilmoitus rakennustyöstä	Kesto yli 1 kk, yht. vähintään 10 työntekijää
Työsuojelupäällikön valinta	Päätoteuttaja	Työmaan työsuojelupäällikkö	Valitaan aina
Työsuojeluvaltuutetun ja kahden varavaltuutetun valinta	Työntekijät	Työmaan työsuojeluvaltuutettu	Valitaan, kun työntekijöitä on vähintään 10

Vaarat ja riskit

Tehtävä	Tekijä	Tulos	Erityistä
Rakennushankkeen riskien arviointi	Rakennuttaja	Turvallisuusasiakirja	Hankkeen erityis-riskit, selvitysten tulokset
Työmaan riskien arviointi	Päätoteuttaja	Työmaan riskikartoitus, tarkemmat riskinarviointi-kohteet	Vaaralliset työ-vaiheet, tehtävät, tarvittavat erillis-suunnitelmat
Työtehtävien riskien arviointi	Päätoteuttaja ja urakoitsija	Työsuunnitelma, työn turvallisuussuunnitelma	Työtehtävän vaa-rat, toteutettavat toimenpiteet
Vaarallisten töiden erityis-suunnittelu	Päätoteuttaja ja kyseinen urakoitsija	Putoamissuojaussuunnitelma, elementtiasennussuunnitelma, louhinta- ja räjäytystyösuunni-telma, purkutyösuunnitelma, henkilönostosuunnitelma	Tarvittaessa muka-na esim. rakenne-suunnittelija

Taulukko 4. Rakennustyömaan suunnitteluun ja käytäntöihin liittyviä työturvallisuustehtäviä. (Koski & Mäkelä, 2006)

Työmaasuunnittelu

Tehtävä	Tekijä	Tulos	Erityistä
Työmaa-alueen käytön suunnittelu	Päätoteuttaja	Työmaan aluesuunnitelma, päivitys rakennusvaiheittain	Alue-, tila- ja muut varaukset: henkilöstötilat, varasto-alueet, nostopaikat, kulkutiet, sähköistys, kiinteät työpisteet, jätehuolto, tavaraliikenne, palontorjunta, nosturit
Työvaiheiden yhteen sovittaminen	Päätoteuttaja	Työmaa-aikataulu	Työn turvallisuuden varmistaminen
Kone- ja laitehankinnat	Työnantaja		Valintatilanteessa otetaan turvallisuusseikat (käyttö, ergonomia, melu, tärinä) huomioon

Työmaan turvallisuuskäytännöt

Tehtävä	Tekijä	Tulos	Erityistä
Perehdyttäminen	Päätoteuttaja	Perehdyttämisohje, perehdytyksen dokumentointi	Työmaan aluesuunnitelman asiat, ensiapu, henkilönsuojaimet, paloturvallisuus, pätevyydet, kulkulupa
Opastus	Työnantaja		Pätevyysvaatimukset, turvallisuusohjeet
Turvallisuuskoulutus	Työnantaja	Tulityökortti, työturvallisuuskortti	
Työmaan turvallisuustarkastukset	Päätoteuttaja, ts-valtuutettu, ts-päällikkö	Työmaan viikkotarkastus, TR-mittaus	
Muut työmaan turvallisuustarkastukset	Urakoitsija	Käyttöönotto- ja määräaikaistarkastukset	Työnantaja vastaa omien koneidensa ja laitteidensa turvallisuustarkastuksista, päätoteuttaja yhteiskäytössä olevien esim. telineiden osalta
Yhteistoiminta työturvallisuusasioissa	Kaikki osapuolet	Sovitut toimintatavat tiedonvälitykseen ja yhteistoimintaan	
Työturvallisuus kokouskäytännöissä	Päätoteuttaja	Työturvallisuusasioita käsitellään jokaisessa työmaan kokouksessa	

5.2 Pääkaupunkiseudun kaivutyöohje

5.2.1 Kaivutöiden suorittaminen yleisillä alueilla ja noudatettavat asiakirjat

Yleisillä alueilla tehtävä kaivu edellyttää ilmoituksen jättämistä kaupungille. Ilmoitusmenettelyllä kaupunki valvoo yleisillä alueilla tapahtuvia kaivutöitä. Kaivutyöt pyritään rajaamaan tarkasti sekä työ tekemään nopeasti ja turvallisesti niin että yleisille alueille aiheutettu haitta kaivutöistä jää mahdollisimman pieneksi.

Lisäksi kunta vaatii takuuajan, kun työ on lopetettu ja korjattu entiseen muotoonsa, missä se oli ennen töitten aloittamista. (HKR/MHo, 2008)

Kaivutöissä noudatettavat asiakirjat

- Kaivutyöt ja tilapäiset liikennejärjestelyt pääkaupunkiseudulla
- Asfalttiurakan asiakirjat 2005, työselostus; Suomen kuntaliitto ja PANK ry,
- Kaapelikaivantotyöt, yleinen työselostus 1999, Suomen kuntaliiton ohjeita,
- Tilapäiset liikennejärjestelyt katualueella; SKTY:n julkaisu 19/99,
- Betoni- ja luonnonkivituotteet päällysrakenteena; SKTY n:o 14,1997,
- Rakennusurakan yleiset sopimusehdot, YSE 1998
- InfraRYL 2006, Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset 2006, osa 1: väylät ja alueet
- Esteettömän ympäristön suunnitteluohjekortti SuRaKu 8, tilapäiset liikennejärjestelyt
- Yleisohjeet liikennemerkkien käytöstä; Tiehallinto. (HKR/MHo, 2008)

5.2.2 Kaivuluvan hakeminen

Ennen kaivutyön aloittamista on tehtävä kaivuilmoitus ja haettava johtoselvitys sekä sovittava alkukatselmus lupatarkastajan kanssa. Kaivuilmoitusta tehtäessä hakijalla on oltava mukanaan selvitys kaivutyöstä (kopio LVI-, sähkö-, rakenne-, tms. suunnitelmasta). Kaivutyön alkukatselmus tilataan n. viikkoa ennen kaivutyötapahtumaa lupatarkastajalta. (HKR/MHo, 2008)

Katselmuksessa todetaan asfaltti- ja kivipäällysteiden laatu ja kunto liikenteenohjauslaitteiden, tiemerkintöjen sekä katukalusteiden sijainti ja kunto. Katselmuksessa todetaan myös puiden, pensaiden, sekä muiden istutusten laatu, kunto ja sijainti. Katselmuksesta tehdään pöytäkirja, josta jää omat kappaleet kaivajalle ja lupatarkastajalle. Työn valmistuttua kaivaja tilaa lupatarkastajalta loppukatselmuksen, jossa työalueen kunto tarkastetaan. (HKR/MHo, 2008)

5.2.3 Kaivutöiden yleiset ohjeet

Kaivaminen ja etenkin siihen liittyvät toiminnot on rajoitettava mahdollisimman pienelle alueelle, jotta liikenteelle aiheutettu haitta jää mahdollisimman pieneksi. Työalue on eristettävä suoja-aidoilla, sulkupuomeilla ja -pylväillä ohjeiden mukaisesti. Lippusiimoja ja muovinauhoja voidaan käyttää ainoastaan liikenteen optiseen ohjaukseen, ei kaivannon suojaukseen. Kaikkien kevyen liikenteen ja kaivannon välisten suojalaitteiden on oltava nojaamisen kestäviä. Luvan saaja vastaa kadun liikenneturvallisuudesta ja liikenteen tyydyttävästä sujuvuudesta. Käytettävien liikenteenohjauslaitteiden on oltava Tiehallinnon hyväksymiä malleja. Niistä on käytävä ilmi kaivutyön suorittaja ja yhdyshenkilön puhelinnumero. Isoissa ja/tai pitkäaikaisissa työkohteissa on oltava erillinen tiedotustaulu, josta selviää edellä olevan lisäksi kaivutyön tarkoitus ja kestoaika. Kaivannon ympäristö on pidettävä siistinä ja kaivumaiden kulkeutuminen ympäristöön liikenteen mukana on estettävä. (HKR/MHo, 2008)

5.2.4 Kaivutöiden laadunvarmistus ja muut ohjeistukset

Päällysteen alapuolisten (sitomattomien) kerrosten on ennen lopullista päällystystä täytettävä InfraRYL 2006:n mukaiset kantavuusvaatimukset. Lisäksi on tarkat ohjeistukset kaivannon täytöistä, teistä, liikenne- ja ajoratamerkinnöistä, vihertäytöistä sekä loppusiivouksista. (HKR/MHo, 2008)

6 RISKIENHALLINTA RAKENNUSHANKKEESSA

6.1 Riskitermin ja arvioinnin määrittely

6.1.1 Riskin määrittely

Sanan riski arvellaan olevan peräisin merenkulusta. Kreikkalaisperäinen sana rhizikon lienee tarkoittanut karia ja kansanlatinan sana risicare karin kiertämistä. Ekonomi Peter L. Brensteinin mukaan sana riski on peräisin varhaisitalian sanasta risicare, joka tarkoittaa uskaltaa. Tällöin riskin käsitteen voidaan katsoa sisältävän sekä valinnanvaraa ja vaihtoehtoja että menetystä tai jopa kuolemaa. Riskin eri ulottuvuuksia tarkasteltaessa tutkitaankin ihmisten ja yritysten vapautta valita eri vaihtoehdoista sekä toisaalta uskallusta tehdä päätöksiä ja ryhtyä tekoihin. (Olenius, 2006)

Termiä riski käytetään kuvaamaan erilaisia asioita. Suomen kielessä riskin synonyymeina mainitaan usein vahingonvaara ja vahingonuhka. Arkikielessä riski sisältää aavistuksen siitä, että jotakin ikävää saattaa tapahtua. Riski merkitsee niitä vaaratekijöitä, joille ihmiset ovat alttiina tietyllä hetkellä. Teoreettisessa ajattelussa riski yhdistetään tulokseltaan erilaisten, onnistuneiden ja epäonnistuneiden, tapahtumien vaihteluksi. Riskiin liittyy poikkeuksetta tapahtumien todennäköisyyksien arviointia. Onnistuneita tapahtumia voidaan kutsua toivotuiksi ja epäonnistuneita ei-toivotuksi. (Suominen, 2003)

Riskin luonteeseen kuuluu se, ettemme voi ainakaan tarkasti olla perillä ei-toivottujen tapahtumien sattumisesta. Yrityksen johto ei siten voi etukäteen tietää näistä ei-toivotuista tapahtumista, kuten tehdasta koskevasta tulipalosta tai työntekijää kohtaavasta tapaturmasta. Historiatiedon perusteella voidaan laskea tällaisten riskien todennäköisyyksiä. Tunnemme tilastojen perusteella esimerkiksi sen, että rakennusalalla tapahtui vuonna 2000 83 työtapaturmaa miljoonaa työtuntia kohden. Vaikka työtapaturmatilasto antaa varsin tarkan kuvan eri toimialojen riskialttiudesta, emme voi tietää, missä yrityksessä sattuu minkälaisia työtapaturmia

ja milloin niitä sattuu. Riskin toteutuminen on täysin sattumanvaraista. (Suominen, 2003)

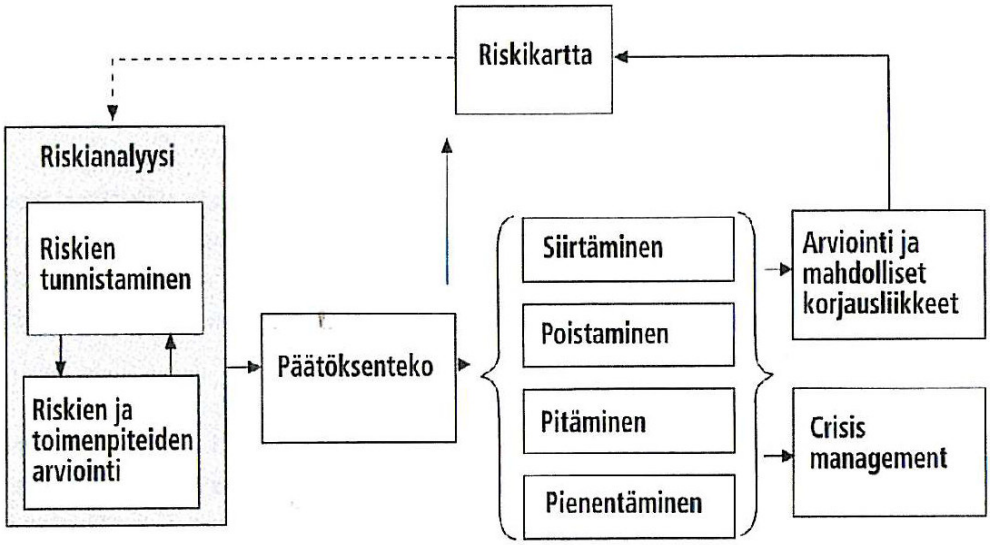
6.1.2 Kvalitatiiviset ja kvantitatiiviset menetelmät

Kvalitatiivisiksi menetelmiksi kutsutaan niitä riskien analysointimenetelmiä ja tarkastelutapoja, joiden pääasiallisena tavoitteena on käsitteellisesti hahmottaa riskin luonnetta ja saada ymmärrys sen todennäköisyydestä ja seuraamusten vaikuttavuudesta. Käsitteet voidaan ”metrittää” esimerkiksi luokituksella, painoarvoilla tai komparatiivisesti. Luokituksesta voisi esimerkkinä olla jaottelu huono – keskinkertainen - hyvä. Painoarvona saattaisi olla esimerkiksi ilmiö pisteyttäminen, jolloin tapahtuman todennäköisyyttä voitaisiin arvioida esimerkiksi ordinaaliasteikolla 1-5. Komparatiivisessä arvioinnissa vaihtoehdot asetetaan esimerkiksi seuraavasti: parempi kuin, todennäköisempi kuin. (Tolonen, 2003)

Kvantitatiivisen menetelmän tavoitteena on määritellä riskitekijän luonne ja suuruus määrällisin menetelmin ja siten saada ymmärrys sen todennäköisyydestä ja seuraamusten vaikutuksesta. Todennäköisyysajattelu on osa riskiajattelua. Voidaan olettaa, että tapahtumien todennäköisyyden arviointi muodostaa kvantitatiivisen riskienhallinnan analyysin vaativimman osuuden. Analyysitekniikat lähtevät yleensä annetuista todennäköisyyksistä, jonka jälkeen lähtöarvoja muokkaamalla päädytään lopputuloksiin. Lopputulokset ovat siten numeroarvoja ja näyttävät luotettavilta – käytetäänhän niiden saavuttamiseksi matemaattisia (deduktiivisia) menetelmiä. (Tolonen, 2003)

6.1.3 Riskienhallinta

Riskien hallintaan liittyy riskien tunnistaminen, riskien merkityksen arviointi ja riskien vähentäminen. Kuvassa 20 on havainnollistettu riskienhallintaprosessi. Riskin arviointi on systemaattista tutkimista ja tutkimustulosten käsittelyä matemaattisin menetelmin. Monesti käsiteltäviin ongelmiin liittyy lukuisia ja lukemattomiakin muuttujia ja riskin arviointi voi olla aikaa vievää ja vaativaa toimintaa. Usein on kuitenkin mahdollista arvioida riskejä yksinkertaistetusti, kun tunnetaan arvioinnin periaatteet. Tuloksia on tietysti tällöin arvioitava varovaisesti. Liialla yksinkertaistamisella ja nyrkkisäännöillä on omat vaaransa. (Hakulinen, 2008)



Kuva 20. Riskienhallinnan prosessi. (Noeskoski, 2008)

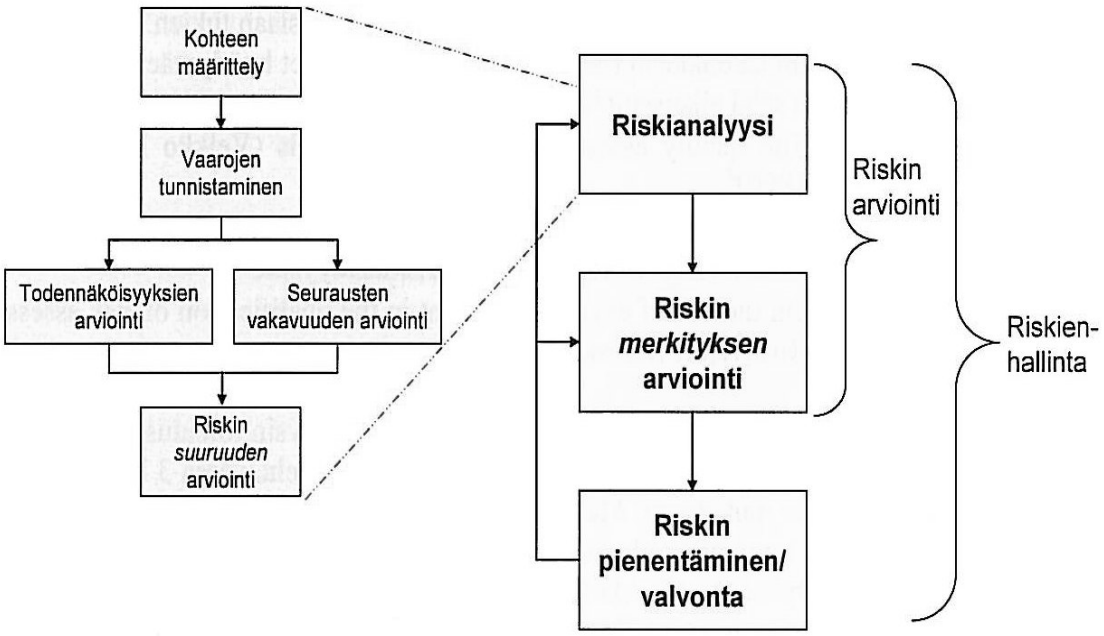
Riskienhallinnalle on määritetty monia tarkoitusperiä. Flink et al. (2007) mukaan vain näkyvien riskien johtaminen on mahdollista ja siksi riskienhallinnan tärkeäksi työvaiheeksi muodostuu riskien tunnistaminen. Suomisen (1999) mukaan riskienhallinnalla on perinteisesti tarkoitettu prosessia, jonka avulla yritystä uhkaavia vaaroja voidaan torjua ja niistä aiheutuvia menetyksiä minimoida. Tolonen (2003) on asettanut tutkimuksessaan riskien tunnistamisen riskienhallinnan kriittisimmäksi osaksi. Riskienhallinnan kannalta riski ei enää ole riski, kun se on tunnistettu. Tunnistettu riski ei ole enää riski vaan ongelma, joka vaatii päätöksen tekoa ja toimenpiteitä. Oleellista riskienhallinnassa on sen jatkuvuus ja kehittyminen prosessimaisesti. Kuvasta 20 havaitaan, että riskienhallinnan prosessi jakaantuu erillisiin loogisiin osa-alueisiin. (Noeskoski, 2008)

6.2 Riskianalyysi

6.2.1 Riskianalyysi prosessina

Määritelmän mukaisesti riskianalyysi on jäsennelty prosessi, joka tunnistaa tarkasteltavasta toiminnasta, laitteistosta tai järjestelmästä johtuvien haitallisten seurausten todennäköisyyden ja laajuuden. Haitalliset seuraukset voivat kohdistua ihmisiin, omaisuuteen tai ympäristöön. Riskianalyysi on osa riskienhallinnan ko-

konaisuutta. Kuvassa 21 on havainnollistettu riskianalyysin osuutta riskienhallinnassa. (Heikkilä et al., 2007)



Kuva 21. Riskianalyysi riskien hallinnan osana (Heikkilä et al., 2007)

Kuvan 21 mukaisesti

- Riskianalyysi tarkoittaa saatavissa olevan tiedon järjestelmällistä käyttämistä vaarojen tunnistamiseksi sekä ihmisiin tai väestöön, omaisuuteen tai ympäristöön kohdistuvan riskin suuruuden arvioimiseksi. Riskin suuruuteen vaikuttaa tapahtuman todennäköisyys ja seurausten vakavuus.
- Riskin arviointi tarkoittaa riskianalyysin ja riskin merkityksen arvioinnin kokonaisuutta
- Riskienhallinta tarkoittaa johtamisperiaatteiden menettelytapojen ja käytäntöjen järjestelmällistä hyväksikäyttämistä riskien analysoimiseksi, merkityksen arvioimiseksi ja valvomiseksi. (Heikkilä et al., 2007)

Yksinkertaistetusti voidaan sanoa, että riskianalyysillä etsitään vastauksia kysymyksiin:

- Millaiset tapaukset kohteessa voivat johtaa ei-toivottuihin seurauksiin?

- Mitkä ovat seuraukset?
- Mikä on näiden todennäköisyys?

Riskianalyysi on laadultaan hyvä, kun se vastaa edellä esitettyihin kysymyksiin kuvaamalla totuudenmukaisesti ja kattavasti tilannetta tarkasteltavassa kohteessa. Jotta tähän päästään, on riskianalyysi suunniteltava, toteutettava ja dokumentoitava laadukkaasti. (Heikkilä et al., 2007)

6.2.2 Riskianalyysin kriteerit

Pohja hyvälle riskianalyysille luodaan jo riskianalyysin suunnittelu- ja valmisteluvaiheessa eli tavoitteen asettelussa, rajauksien tekemisessä ja soveltuvimman analyysimenetelmän valinnassa. Koska riskianalyysi tehdään hyvin erilaisista lähtökohdista (tavoite, tarkoitus), erilaisista kohteista, erilaisilla lähtötiedoilla ja erilaisilla resursseilla, ei ole mahdollista asettaa tiukkoja kriteereitä riskianalyysin laadulle. Voidaan kuitenkin nostattaa esiin tekijöitä, jotka yleisesti ja kukin omalta osaltaan vaikuttavat riskianalyysiin laatuun – siihen onko riskianalyysi hyvä vai ei. Hyvässä riskianalyysissä seuraavat tekijät ovat kunnossa:

- tavoitteen määrittely,
- kohteen rajaus,
- oikea(t) menetelmä(t) kohteen ja tavoitteiden mukaisesti,
- lähtötietojen laatu,
- vetäjän pätevyys,
- resurssin varaus,
- dokumentointi,
- tulosten ja toteutuksen tavoitteen mukaisuus ja
- tulosten viestintä (Heikkilä et al., 2007)

6.2.3 Riskianalyysin menetelmät

Riskianalyysin menetelmät voidaan jakaa vaarojen tunnistamismenetelmiin, onnettomuuksien mallintamismenetelmiin sekä seurausanalyyseihin. Vaarojen tunnistamismenetelmät kuvaavat yksityiskohtaisesti tapahtumien kulkua ja antavat pohjan onnettomuuksien todennäköisyyden arvioinnille. Seurausanalyyseilla arvi-

oidaan mahdollisten onnettomuuksien, kuten vaarallisten aineiden päästöjen, tulipalojen ja räjähdysten välittömiä seurausvaikutuksia. (VTT, 2008)

Vaarojen tunnistamismenetelmät (VTT, 2008)

- Poikkeamatarkastelu (HAZOP)
- Potentiaalisten ongelmien tarkastelu (POA)
- Reaktiomatriisi
- Riskien arviointi työpaikalla –työkirja
- Satunnaispäästöriskianalyysi (SARA)
- Toimintovirheanalyysi (TVA)
- Työn turvallisuusanalyysi (TTA)
- Työtapojen analyysi
- Vaarallisten skenaarioiden analyysi (HAZSCAN)
- Vika- ja vaikutusanalyysi (VVA)

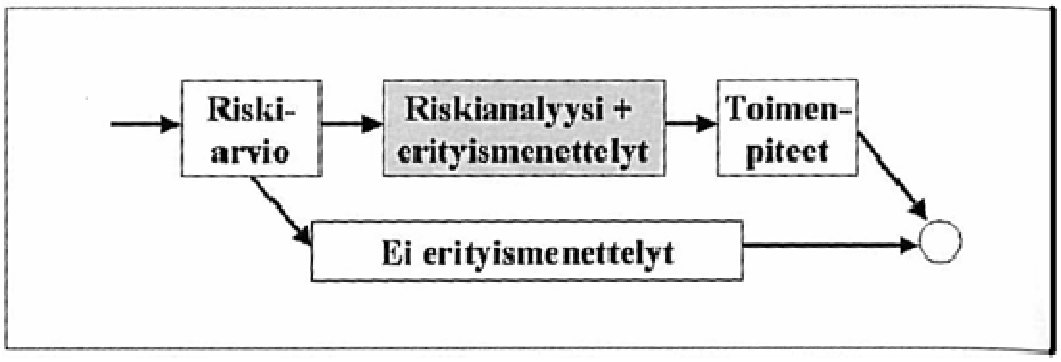
Onnettomuuksien mallintamismenetelmät (VTT, 2008)

- Syy-seuraus-kaavio (SSK)
- Tapahtumapuuanalyysi (TPA)
- Vikapuuanalyysi (VPA)
- Seurausanalyysit

6.3 Riskianalyysi rakentamisessa

6.3.1 Riskianalyysin tehtävä

Alustava riskiarvio ja riskianalyysi ovat kaksi rakenteellisen turvallisuuden varmistamiseen liittyvää erillistä riskienhallinnan työvaihetta. Rakentamisessa riskianalyysin tavoite on varmistaa rakenteen sietokyky vaurioitumiselle. **Riskianalyysin** tuloksena määritellyillä toimenpiteillä tunnistetaan ja poistetaan suoranaisia teknisiä tai välillisiä organisatorisia mahdollisesti sortumavaaraa edistäviä tekijöitä. **Riskihallintatoimenpiteiden** avulla voi joissakin tapauksissa olla mahdollista pienentää rakennuksen kuormia ja rasituksia, tai sen jonkin osan mahdollisesta sortumisesta aiheutuvia seurauksia. Kuvassa 22 on esitetty riskiarviokaavio. (Åström, 2007)



Kuva 22. Alustava riskiarvio, riskianalyysi ja toimenpiteet. (Åström, 2007)

Hankekohtainen riskianalyysi liittyy olennaisesti rakennuksen tai rakennekokonaisuuden sietokykyyn. Sortuma voi olla seuraus joko tunnetusta onnettomuuskuormituksesta tai joistakin ns. ennakoimattomista syistä, kuten erilaiset materiaali-, suunnittelu-, valmistus-, asennus- ja muut esimerkiksi rakennustapaan liittyvät virheet. Sortumaa tai sen mekanismia ei tarvitse määritellä tarkasti, koska äkillistä sortumaa ei hyväksytä mistään syystä. On todettu, että ennakoimattomia, yksittäisiä tilastollisia, osittain tilastollisia ”inhimillisiä” tai muita materiaali- tai työvirheitä ei voida kokonaan välttää. Rakenteet voidaan suojata tietyiltä tapahtumilta (törmäykset yms.). (Åström, 2007)

6.3.2 Rakenteelliseen turvallisuuteen liittyvät riskitekijät

Rakenteiden suunnitteluohjeet ja rakentamismääräykset perustuvat kvantitatiiviseen riskianalyysiin. Suunnitteluohjeiden varmuuskertoimet (materiaali-, kuormitus, ynnä muut vastaava) on valittu perustuen simulointiin ja tarkkoihin todennäköisyyslaskelmiin. Tiedot yksittäisten rakenneosien ominaisuuksista perustuvat rakennekokeisiin, joiden lukumäärien ja tulosten hajontojen avulla on määritelty muuttujien arvot, jakaumat ja hajonnat. (Åström, 2007)

Todennäköisyyslaskelmissa on simuloitu erilaisia rasitus- tai onnettomuustilanteita ja niihin liittyviä vaihtoehtoja. Malleissa ja laskelmissa on hyödynnetty sekä geometristen muuttujien että kuormien tilastollisia todennäköisyysjakaumia. Tapahtumia on simuloitu suuret määrät. Näin on kullekin rakenteiden suunnittelussa

käytettävälle muuttujalle voitu valita mitoitusarvot, joiden avulla päädytään hyväksyttävään varmuustasoon tai riskiin. (Åström, 2007)

On voitu todeta, että rakentamiseen liittyy runsaasti ennakoimattomia riskitekijöitä, joita ei voi kvantifioida (määritellä lukuarvoja tai todennäköisyyksiä), koska tapahtumia on ollut liian harvoin tai liian vähän. Lähes kaikki tunnetut rakennusten sortumat, vaikka niihin liittyy monia yhteisiä piirteitä, ovat olleet erilaisia lähes yksittäisiä tapahtumia. Ennakoimattomille tapahtumille ja riskitekijöille ei voi määritellä todennäköisyyksiä, eikä yksittäisen rakennussortuman todennäköisyyttä voi laskea. (Åström, 2007)

6.3.3 Luokittelu ja tarkastuslistat

Riskianalyysissa ja riskienhallinnassa tulee riskit tunnistaa ja niiden suuruutta arvioida. Oleelliset kysymykset ovat:

- Kuinka suunnitteluasteella olevasta kohteesta ja sen suunnitelmista tunnistetaan teknisiä tai organisaatioon liittyviä seikkoja tai tekijöitä, joilla aiemman kokemuksen valossa tiedetään olevan herkistävä vaikutus virheisiin tai rakenteiden vaurioitumiselle?
- Kuinka käsitellään ja luokitellaan kohteessa mahdollisesti esiintyvät virheisiin tai vaurioon herkistävät tekijät siten, että tarve ja päätös käytännön riskienhallintatoimenpiteistä voidaan järkevästi hoitaa?
- Kuinka selvitetään kohteen ne osat ja kohdat, missä riskienhallinta voidaan tehokkaasti hoitaa, ja jolloin kohteen rakenteellinen turvallisuus todistettavasti paranee. (Åström, 2007)

6.3.4 Seurausanalyysi ja sen tulokset

Riskianalyysin ensimmäisiä vaiheita on mahdollisen sortuman seurausanalyysin laadinta, joka edesauttaa riskien tunnistamista ja selkeyttää, miten riskeihin suhtaudutaan. Rakennuksen äkillisestä osittaisesta tai laajemmasta sortumisesta voi syntyä erilaisia vahinkoja:

- ihmisten loukkaantuminen tai hengen menetys,
- rakennuksen tai sen osien vaurioituminen,
- sortuneessa tilassa säilytetyn tavaran vahingoittuminen ja

- keskeytys- ja ympäristövahingot, jne. (Åström, 2007)

Tiedot seuraamuksista voidaan poimia alustavan riskiarvion yhteydessä laaditusta seuraamusluokan määrittelystä. Alustavan riskiarvion perusteella on havaittu, että rakenteiden vaurioitumisesta tai rakennuksen äkillisestä sortumisesta voi sen käytön ja tilat huomioon ottaen aiheutua muun muassa seuraavia haittoja ja seurauksia:

paikallisia rakennevaurioita, mistä aiheutuu esimerkiksi:

- henkilövahinkoja,
- tarve tukea rakenteita väliaikaisesti,
- tarve suunnitteluttaa ja tehdä korjauksia,
- keskeytysvahinkoja ja toimitushäiriöitä tai

laajempia rakennevaurioita tai sortuma, mistä aiheutuu edellisten vahinkojen lisäksi:

- suurempi määrä tai pahoja henkilövahinkoja,
- merkittäviä rakenteellisia ongelmia ja korjauskustannuksia

rakennuksen sortuminen, mistä pahimmassa tapauksessa voi edellisten lisäksi aiheutua muun muassa:

- rakennuksen purkutarve ja
- ihmisten tai yritysten muuttotarve muihin tiloihin. (Åström, 2007)

6.3.5 Riskianalyysin tulosten käyttäminen

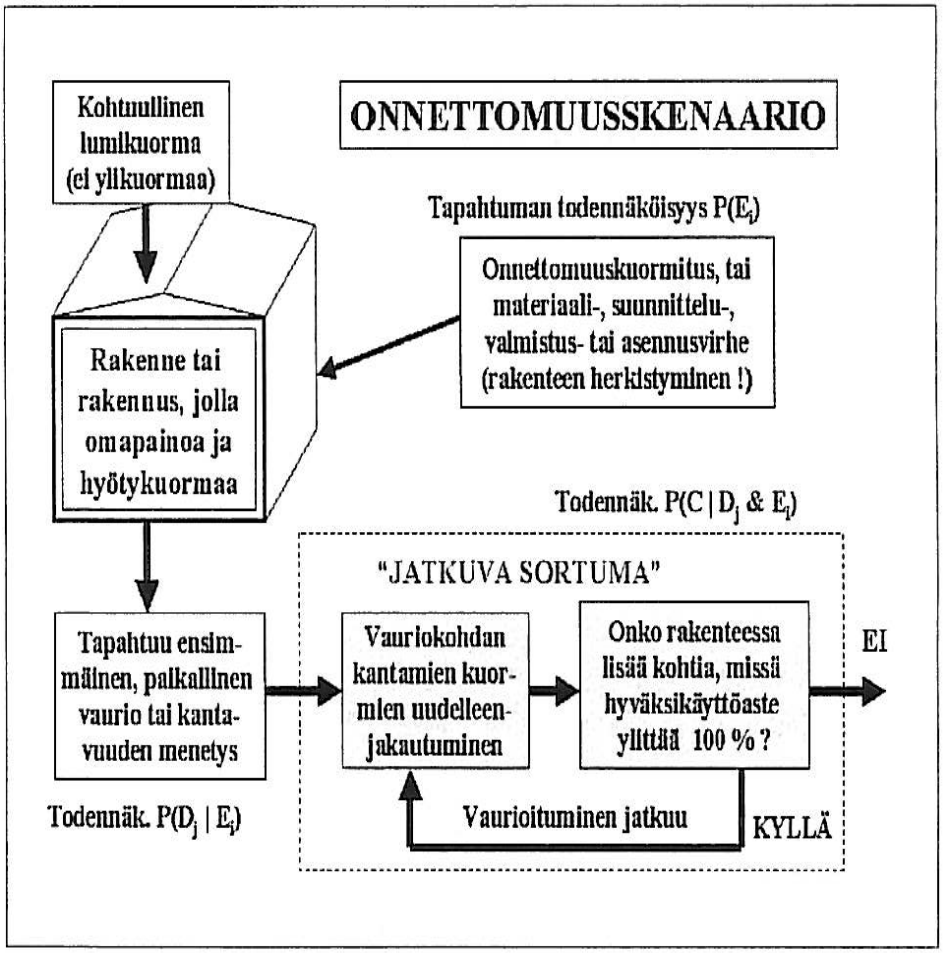
Riskianalyysin perusteella valitaan erityismenettely ja muita tarvittavia laadunhallinnan toimenpiteitä. Riskianalyysi ei korvaa ”rakennusosien valmistuksen laadunvarmistusta”, koska se kohdistuu suunnitelmiin ja tehdään ennen kuin suunnitelmien mukainen rakenteiden valmistus aloitetaan. Riskianalyysillä ja erityismenettelyn toteutustoimenpiteillä voidaan edistää rakenteellista turvallisuutta tarkastamalla, tunnistamalla ja poistamalla tekijöitä, joiden takia rakenteet voivat herkistyä vaurioitumiselle tai sortumiselle. (Åström, 2007)

6.3.6 Onnettomuusskenaario

Kuvassa 23 esitetyssä onnettomuusskenaariossa riskianalyysi perustuu skenaarioon, jonka mukaan mielivaltaisesta tapahtumasta E_i, joka voi käytännössä olla myös useamman eri syyn kombinaatio, rakenteen jokin osa vaurioituu eikä se voi ottaa enempää kuormitusta. Käytännössä siis saavutetaan sen kestävyyden suurin arvo. Suomessa lumikuorma on usein katalysoinut rakennevaurion. Mikäli tällöin ensiksi vaurioitunut rakenneosa tai –yksityiskohta menettää kokonaan kantavuutensa, sen alun perin kantama kuormitus siirtyy rakenteen muiden osien kannettavaksi, jolloin ehkä saavutetaan jonkin toisen osan kantokykyraja. Seurauksena voi pahimmassa tapauksessa olla rakenteen osien jatkuva vaurioituminen ja kuormien uudelleen jakautuminen, eli jatkuva sortuma. Mikäli vaurioituminen ei pysähdy, koko rakennus voi sortua. (Åström, 2007)

Tunnetuissa onnettomuustilanteissa (esim. tulipalo) rakennusosa voi heiketä tai vaurioitua ja menettää kantavuutensa. Samoin niin sanotuissa ennakoimattomissa onnettomuustapauksissa, olipa tapahtuman (event) todennäköisyys $P(E_i)$ mikä tahansa, jos rakenteessa tai sen jossakin osassa on virhe, puute tai heikkous, rakenneosaan voi syntyä vaurio (damage) D_j, vaikka osan kuormitus ei ylitä mitoitusarvoaan. Tapahtuman E_i ja siitä aiheutuvan vaurion D_j ehdolliseen todennäköisyyteen $P(D_j | E_i)$ voidaan vaikuttaa, mutta vauriota ei ehkä voida kokonaan estää (kuva 23). (Åström, 2007).

Suunnittelutavoitteena on rakenne, jonka mahdolliset vauriot pysyvät rajallisina, eikä niistä synny jatkuvaa sortumaa. Se on huolellisella suunnittelulla mahdollista, ja siksi myös sortumisen todennäköisyyteen $P(C | D_j \& E_i)$ voidaan vaikuttaa. Ehdollisista todennäköisyyksistä $P(E_i)$, $P(D_j | E_i)$ ja $P(C | D_j \cap E_i)$ ei ole olemassa riittävästi tilastotietoa, jotta kokonaistodennäköisyys voitaisiin laskea, koska rakenteiden äkilliset sortumat ovat olleet yksilöllisiä tapahtumia (kuva 23). Siten rakennuskohteita ei myöskään voida verrata kvantitatiivisesti toisiinsa. Riippuen havaituista vaaroista, riskienhallinnassa voidaan kuitenkin tietoisesti hyödyntää edellä kuvattua skenaariota suunniteltaessa ja kohdistettaessa mahdollisia korjaustoimenpiteitä riskien pienentämiseksi. (Åström, 2007)



Kuva 23. jatkuvan sortuman mallintaminen. Sortuma voi edetä tai se voi myös pysähtyä. (Åström, 2007)

Suunnittelussa ja/tai toteutuksessa pyritään vaikuttamaan korjaus- ja muilla riskinhallintatoimenpiteillä riippuen kustakin havaitusta riskitekijästä, joko

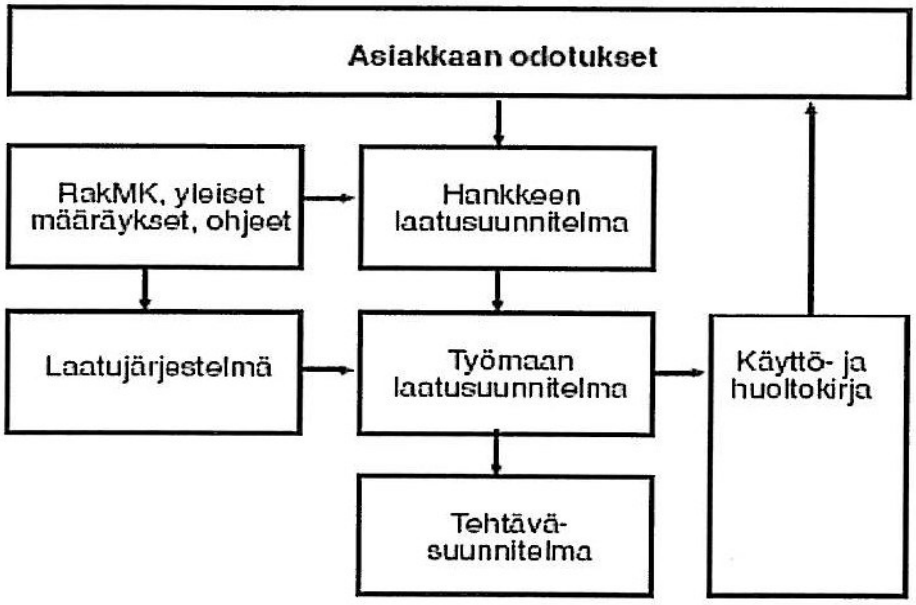
- alkuperäisen tapahtuman,
- tapahtumasta aiheutuvan ensimmäisen vaurion tai
- jostakin vauriosta aiheutuvan jatkuvan sortumisen todennäköisyyksiin. (Åström, 2007)

6.4 Laatu osana riskienhallinnassa

6.4.1 Laatusuunnitelma

Rakentamisen laatusuunnitelman tavoitteena on tehdä sopimuksen mukaista laatua asiakkaalle laatujärjestelmien ja -suunnitelmien avulla. Yrityksen laatujärjestelmän lisäksi rakennusyritys tarvitsee hankekohtaiset laatujärjestelmät sekä työ-

maiden laatusuunnitelmat. Yksittäistä työmaata varten tarvitaan projektikohtaisesti tarkennetut ja dokumentoidut laadunvarmistusmenettelyt, joista käytetään esimerkiksi nimiä laatusuunnitelma ja laadunvarmistuksen dokumentit. Laatusuunnitelmat ovat osa yrityksen laatujärjestelmää ja niillä taataan yksittäisen työmaan laadun toteutuminen. Työmaan laatusuunnitelma tehdään jokaiselle työmaalle erikseen. Kuvassa 24 on kuvattu laatusuunnitelma rakentamisessa. (Kontusalmi, 2008)

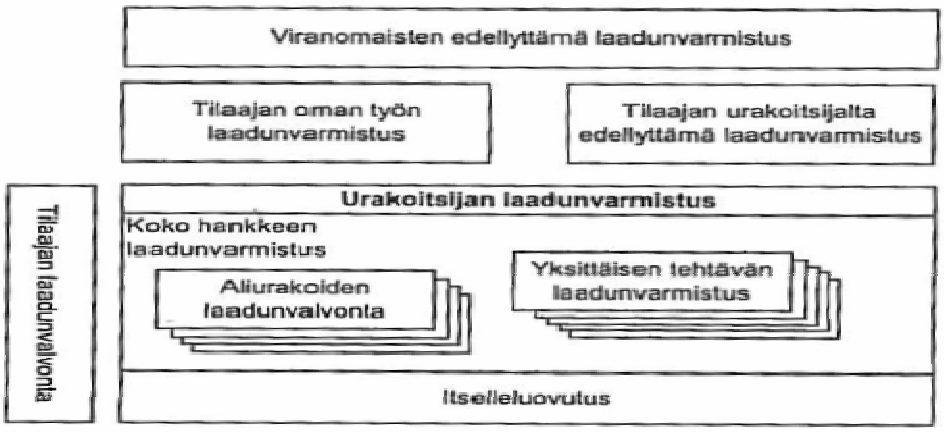


Kuva 24. Laatusuunnitelma rakentamisessa (Kontusalmi, 2008)

6.4.2 Laadunvarmistus

Laadunvarmistuksen tavoitteena on varmistaa rakennuksen turvallisuus, kestävyys ja toimivuus. Laadunvarmistus sisältää kaikki ne suunnitellut ja järjestelmälliset toimenpiteet, jotka ovat tarpeen riittävän varmuuden saamiseksi siitä, että rakennus täyttää sille turvallisuuteen liittyvät ja sopimuksessa asetetut vaatimukset. Vaatimusten toteutuminen varmistetaan riittävillä resursseilla, asiantuntijuudella, osapuolten tiiviillä yhteistyöllä ja oikeilla toimenpiteillä. Rakennushankkeeseen ryhtyvän vastuulla on huolehtia siitä, että hankkeessa on riittävät edellytykset laadunvarmistuksen toteuttamiseksi. Suunnittelijoiden, urakoitsijoiden ynnä muiden tulee omalta osaltaan täyttää heihin kohdistuvat velvoitteet laadunvarmistuksen käytännön toteuttamisessa. (Junnonen, 2006)

Laadunvarmistukseen liittyvällä rakennuksen toimivuuden varmistamisella pyritään toimivuuden kannalta hyviin ratkaisuihin ja estämään virheiden syntymistä hankkeen suunnittelussa ja rakentamisessa. Rakentamisen aikaisella laadunvarmistuksella pyritään varmistamaan, että tehty työ vastaa sille sopimuksessa asetettuja vaatimuksia. Valtaosa rakentamisaikaisista laadunvarmistustoimenpiteistä on katselmuksia, tarkastuksia ja mittauksia. Laadunvarmistus edellyttää myös laatuvaatimusten täsmentämistä ja rakennushankkeen eri osapuolten ja viranomaisten yhteistyötä. Viranomaisten tehtävänä on ensisijaisesti varmistaa, että rakennushankkeen ryhtyvällä on edellytykset hankkeen toteuttamiseen sekä rakennushankkeessa mukana olevilla henkilöillä on hankkeen vaativuuden edellyttämä asiantuntemus ja ammattitaito. Viranomaiset ohjaavat ja valvovat laadunvarmistuksen toteutumista lakien, määräysten ja viranomaisohjeiden perusteella Kuvassa 25 on esitetty rakentamisen aikaisen laadunvarmistuksen osatekijät. Liitteessä 3 havainnollistetaan talonrakentamisen työmaavaiheen laadunvarmistuksen menettelytavat. (Junnonen, 2006)



Kuva 25.Rakentamisen aikaisen laadunvarmistuksen osatekijät (Junnonen, 2006)

7 KAIVANTOHANKKEEN RISKIENHALLINTAMENETELMÄ

7.1 Johdanto

Riskienhallinta aloitetaan hankkeen riskien tunnistamisesta. Riskienhallinta ja riskien tunnistaminen ovat aina hankekohtaisia. Riskejä voidaan poistaa, pienentää, jakaa ja siirtää riskienhallinnan avulla. Riskienhallinnan pääinstrumenttina toimii riskienhallintasuunnitelma, jota edeltää riskianalyysi, jossa hankkeen riskejä tunnistetaan ja arvioidaan. Riskienhallintasuunnitelman tehtävänä on esittää selkeästi hankkeissa edeltä käsin havaitut riskit. Tämä suunnitelma on luottamuksellinen asiakirja tilaajan ja suunnittelijan välillä, ja suunnitelmaa päivitetään määrävälein hankkeen edetessä ”riskipäiväkirjaan”. (Olenius, 2006)

Kaivantojen riskienhallinta voidaan tehdä suunnittelijan, tilaajan tai urakoitsijan aloitteesta, mutta viimeistään silloin, kun rakennusvalvonnan toimesta hanke on määrätty kuuluvaksi erityismenettelyn piiriin. Yleensä erityismenettely koskee koko pohjarakennetta, johon voi kuulua mm. kaivanto ja pohjaveden hallinta. Riskienhallintamenetelmällä saadaan kaivantohankkeen riskit tiedostetuksi ja etsittyä niille hallintakeinoja. Kaivantohankkeessa saadaan parhaiten riskit havaittua, kun hankkeen eri osapuolet (suunnittelija, urakoitsija ja rakennuttaja) miettivät yhdessä ongelmaa. Hankkeen osapuolten tapaaminen ja tiedonvaihto ovat tärkeitä osia riskienhallinnan onnistumiselle. Riskienhallinta voi kattaa kaivantohankkeen rakennuttamisen, suunnittelun ja rakentamisen.

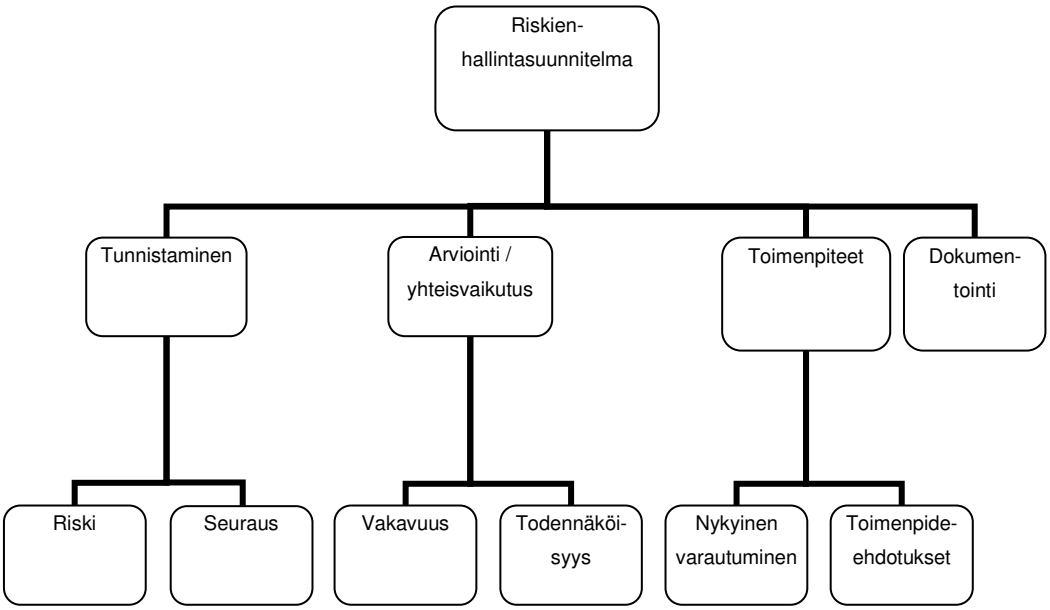
7.2 Riskienhallinnan menetelmäkuvaus

7.2.1 Yleistä

Kaivantojen riskienhallinnassa suositellaan keskityttävän tiettyyn tärkeäksi koettuun pääkohtaan, esimerkiksi suunnitteluun ja rakentamiseen. Tällöin kyseisten pääkohtien riskit voidaan kartoittaa huolellisemmin. Riskienhallinta jakautuu neljään pääkohtaan: riskien tunnistamiseen, arviointiin, toimenpiteisiin ja dokumentointiin. Keskeisessä osassa riskienhallintamenetelmää on kokoukset (workshop), joiden aiheet ovat järjestyksessä: 1. tunnistaminen, 2. arviointi ja 3. toimenpiteet. Lopuksi kokousten jälkeen tehdään dokumentointi ja määritetään vastuutaho hal-

lintatoimenpiteen suorittamiseksi. Kuvassa 26 on havainnollistettu riskienhallintamenetelmä.

Riskienhallinnan puheenjohtaja (vetäjän) tulisi standardin SFS-IEC 60300-3-9 mukaan olla ulkopuolinen henkilö, joka voi toimia osapuolista riippumattomasti. Tämän vaatimuksen täyttäminen voi olla käytännössä olla vaikeaa. Riskianalyysityön koordinoijaksi ja riskianalyysin tietojen kokoajaksi sopii näin ollen parhaiten vastaava geosuunnittelija, ellei tehtävään nimetä ulkopuolista henkilöä. Workshop-työskentelyn puheenjohtaja tulisi mahdollisuuksien mukaan kuitenkin olla hankeorganisaation ulkopuolinen henkilö. Näin workshopin puheenjohtaja voisi selvittää puolueettomasti hanketta ja sen riskitekijöitä joutumatta eturistiriitoihin. Liitteessä 6 on esitetty vaatimuksia riskianalyysien toteuttajille ja tilaajalle. (Åström, 2007)



Kuva 26. Riskienhallinnan prosessikaavio

7.2.2 Riskienhallintasuunnitelmalomake

Tunnistamisen, arvioinnin, toimenpiteiden ja dokumentoinnin kautta saadaan aikaiseksi riskienhallintasuunnitelma. Taulukossa 5 on riskienhallintasuunnitelman lomake kaivannoille. Riskienhallintalomakkeen ulkoasu noudattaa kirjan Rakenteellisen turvallisuuden varmistaminen - Erityismenettelyn soveltamisohjetta (RIL 241-2007). Lomake on pyritty tekemään yksinkertaiseksi ja helppolukuiseksi. Lomakkeesta havaitaan riski ja sen seuraus tai seuraukset. Lomakkeeseen on varattu kohdat riskin vakavuudelle, todennäköisyydelle, sekä vakavuudesta ja todennäköisyydestä saadulle yhteisvaikutukselle. Riskin yhteisvaikutusta voidaan tehostaa käyttämällä eri värejä: punainen (vakava riski), keltainen (kohtalainen riski) ja vihreä (vähäinen riski). Lomakkeesta havaitaan nykyinen varautuminen riskille sekä toimenpide-ehdotus. Lisäksi lomakkeeseen on merkitty vastuuhenkilö hallintatoimenpiteen suorittamiseksi.

Taulukko 5. Riskienhallintasuunnitelman lomake

KOHDE:

RISKIENHALLINTASUUNNITELMA, SUUNNITTELU JA TOTEUTUS RISKIT

Tekniikka-ala: Geotekniikka, maa- ja pohjarakennus

Taulukon täyttäjä:

Päiväys:

Riskin aiheuttava tilanne	Seuraukset	Riskin vakavuus	Todennä-köisyys	Yhteis-vaikutus	Nykyinen varautuminen	Toimenpide-ehdotukset / lisäkysymykset	Vastuuhlö

7.2.3. Riskin tunnistaminen

Riskienhallintamenetelmässä ensimmäinen vaihe on havaita hankkeen riskit ja selvittää niiden mahdollisia seurauksia. Riskienhallintamenetelmässä on tehokkainta tunnistaa riskit varta vasten järjestetyssä riskien tunnistamisen kokouksessa (workshop). Järjestettävän kokouksen kokoonpanossa tulee olla edustettuna hankkeen eri osapuolet ja eri alojen asiantuntijat. Riskit on tunnistettava hankekohtaisesti. Kokouksessa havaitut riskit kirjataan riskienhallintasuunnitelmalomakkeelle (taulukko 5), joka tarkastetaan hankkeessa olevien henkilöiden kesken ennen seuraavaa kokousta.

7.2.4 Tarkastuslista apukeinona riskin tunnistamisessa

Riskien tunnistamisen helpottamiseksi voidaan käyttää tarkastuslistoja, joihin on valmiiksi koottu kaivannoissa havaittuja riskejä. Listoilla on eri nimityksiä, kuten riskilista tai tarkistettavat asialistat. Listoja tehdään ja käytetään kunkin hankkeen erityispiirteiden mukaisesti, kuten esimerkiksi kaivantojen tekniset tarkastuslistat. Listat voidaan koota hyödyntämällä aikaisempien hankkeiden dokumentteja, riskimuistioita tai kokemustietoa. Lisäksi haastattelemalla eri osapuolia (suunnittelija, urakoitsija, rakennuttaja jne.) voidaan koota haastattelujen perusteella riskilista. Taulukossa 6 on esimerkki kaivannon teknisestä tarkastuslistasta.

Taulukko 6. Esimerkki kaivannon teknisestä tarkastuslistasta

Kaivannon tekninen tarkastuslista
1. Pohjavedenpinnan alenemisen haitallinen vaikutus ympäristöön
2. Ympäristössä tapahtuvat painumat ja/tai siirtymät tontin reunoilla, kadun putkilinjoissa tai rakenteissa
3. Ympäristöön kohdistuvat tärinät
4. Kaivumaiden läjitys
5. JNE.

7.2.5 Havaittuja riskejä suunnittelussa ja toteutuksessa

Yleistä

Tähän diplomityöhön tehtiin haastatteluja käyttämällä haastattelupohjaa, jonka avulla koottiin yhteen riskejä, jotka liittyvät kaivannon suunnitteluun ja toteutukseen. Haastatellut asiantuntijahenkilöt ovat Korhonen, Malk, Melander, Olaste ja Tarkkio suunnittelu- ja urakoitsijasektorilta.

Haastatteluissa ilmeni muun muassa seuraavan tyyppisiä riskejä:

Maaperäriskit:

- luotetaan liikaa kairausdiagrammeihin, ja maanäytteiden ottaminen on jäänyt liian vähäiseksi,
- maaperä häiriintyy esimerkiksi pontin lyönnin aikana, mutta maaperä on mitoitettu häiriintymättömillä arvoilla,
- moreenissa voi esiintyä suuria lohkareita ennen varsinaista kallion pintaa, jolloin pontti voi jäädä irti kalliosta tai liian ylös tavoitetasosta,
- kairausten ja tutkimuksen laadussa tai määrässä on puutteita,
- muutokset lähtötiedoissa eivät välity suunnittelijalle, esim. poikkeama pohjavedenpinnan korkeudessa,
- tontille rakennettujen täyttöjen paksuus poikkeaa suunnitteluvaiheen oletetusta,
- paalutus aiheuttaa häiriintymistä luiskattuihin kaivantoihin,
- ponttiseinän ylösnosto, jos pitkäaikainen vakavuus on heikko tai ylösnosto aiheuttaa yli kriittisen painuman ympäristörakenteelle, on ylösnosto riski.

Mitoituslaskelmariskit

- kaivannon mitoituslaskelmissa sekoitetaan kokonaisvarmuusmenetelmä osavarmuusmenetelmään tai käytetään molempia menetelmiä yhtä aikaa sekaisin,
- mitoituslaskelmia ei verifioida riittävästi esim. seurantamittauksilla
- kaivannon ulkopuolinen kuormitus arvioidaan virheellisesti, esimerkiksi liikennekuormat tai autonostureiden pistekuormat,
- maa-ankkureiden mitoitus tehdään puutteellisin lähtötiedoin, esimerkiksi maa-ankkurit mitoitetaan liian lyhyiksi,
- kaivantoa mitoitettaessa ohjelmien teorioiden ja mallien tietämättömyys voi johtaa virheellisiin laskentatuloksiin, herkkyys annetuille parametriarvoille ja laskentamallin valinnalle,
- luotetaan liikaa mitoitusohjelmien tuloksiin, käsin laskennan tarkistus jää tekemättä tai ei olla selvillä tuloksien suuruusluokasta.

Ympäristöriskit

- siirtymä-, painuma- ja tärinäongelmat; esimerkiksi pontin lyönti anturaperustusten viereen, tai kaivannon vieressä sijaitseva kunnallistekniikka, esimerkiksi viemärit ja vesijohdot
- tukiseinän ankkurointi naapurirakennusten paaluperustuksen sekaan,
- rakentamisen ajankohta, pohjaveden korkeus muuttuu vuoden aikana, yleisesti keväällä ja syksyllä pohjavesi on ylempänä,
- routimisongelmat talvella,
- kaivaminen pohjavedenpinnan alapuolella; maapohja voi häiriintyä ja aiheuttaa huokosvesipaineen nousua,
- paineellinen pohjavesi; ongelmia suunnittelussa ja urakoinnissa,
- runsas pumppaus voi aiheuttaa konsolidaatiota hienorakeisessa maassa,
- pumppauksen mukana voi kulkeutua hienoainesta, joka syövyttää maapohjaa tai kaivannon taustaa,
- louhinta aiheuttaa kaivannon yhteydessä omat riskinsä tärinäherkille rakenteille, sekä sinkoilevat ja louhintaseinästä putoavat kivet aiheuttavat työturvallisuusriskin,

- ponttien ylösnosto aiheuttaa usein painumia,
- pohjavesi alenee hallitsemattomasti tai liikaa kaivannon teossa, vaikka se on huomioitu suunnittelussa,
- ponttien siirtymä kaivun jälkeen.

Suunnitelma-asiakirjojen puutteesta tai noudattamatta jättämisestä johtuvat riskit

- puutteellinen työsuunnitelma esim. työvaiheistusten osalta,
- suunnittelussa jää huomioimatta paikallisten syvennysten tuentasuunnitelma, esimerkiksi hissisyvennykset,
- paineellista pohjavettä ei ole huomioitu suunnittelussa ja toteutuksessa,
- putkijohtokaivannoissa ei ole noudatettu suunnitelmia,
- huolimattomasti tehty kaivanto, esimerkiksi pontti on lyöty, mutta vaakatuet on jätetty laittamatta, tai on lyöty väärän pituisia tai laatuisia pontteja,
- nostopaikat ja niiden kuormat puuttuvat suunnitelmista,
- kaivu- ja täyttömaiden läjitystä ei ole huomioitu suunnittelussa,
- puutteelliset lähtötiedot, virheratkaisut: kaivannon rakentamisessa, tuentatavassa, seinätyypin valinnassa ja kuivatuksessa,
- tuentasuunnitelman puutteellisuus syvissä kaivannoissa, missä on paksut savikerrokset ja pohjavedenpinta on korkealla,
- siirtymät on jätetty huomioimatta vaativassa kaivannon ympäristöolosuhteissa esim. rakennevauriot naapurirakennuksissa tai paineellisten runkovesiputkien vaurioituminen,
- kaivannon suoja-aita on vääränlainen tai huolimattomasti asennettu, jonka seurauksena voidaan törmäyksen voimasta pudota kaivantoon,
- puutteita sijainti- ja mittaustarkastelussa,
- pilaantuneita maita ei ole huomioitu maaperäselvityksissä,
- törmäys- ja onnettomuuskuormaa ei ole otettu huomioon suunnittelussa,
- vettä johtavia maakerroksia, kalliota ja/tai pohjavesivirtausta ei ole otettu huomioon suunnittelussa, hallitsemattomat vesivuodot,
- puutteellinen ponttiseinän ja/tai kaivannon vesitiiviys,

- jätetty huomioimatta oleellinen laskentatarkastelu, esim. hydraulinen murtuma tai stabiliteetti.

Muut riskit

- toimintatapojen ymmärtämättömyys lisää riskejä, kun ei tiedetä miten ja miksi asioita tehdään,
- aikataulutus ja töiden yhteensovittaminen urakoinnissa,
- ei tunnisteta alkavaa sortumaa, esimerkiksi kaivannon ympäristössä olevia suuria painumia,
- uudet rakenneratkaisut eivät välttämättä toimi vaikeissa kohteissa,
- ahtaat putkikaivannot, työnaikana ahtauden vuoksi voivat vaakatuet hajota, tuet liikkua jne. työkoneen kolhuista,
- eri urakoitsijoiden väliset ristiriitaisten tietojen annot suunnittelijoille,
- suunnitelmien yhteensovittamattomuus eri suunnittelualojen kanssa,
- ei ole selvitetty olemassa olevia vaurioita viereisissä rakennuksissa, ”korvaamisen uhka rakentamisen aikaisista vaurioista”, vaikka olemassa olevat vauriot eivät ole lisääntyneet,
- häiriöt pohjaveden pumppauksessa,
- pontituskoneen kaatuminen.

7.2.6 Riskien arviointi ja yhteisvaikutus

Riskien arviointia käsitellään toisessa kokouksessa, jossa on hyödynnettävissä aikaisemmasta kokouksesta havaitut riskit. Riskien arvioinnissa arvioidaan tunnistettujen riskien vakavuudet. Riskienhallintamenetelmässä arviointi käsittää riskin vakavuuden ja todennäköisyyden, josta saadaan (vakavuuden ja todennäköisyyden tulona) yhteisvaikutus. Mitä suurempi on yhteisvaikutus, sitä vakavampi riski on kyseessä.

Riskien suuruuden arviointi on tarkemmin selitetty kappaleessa 7.2.7. Riskin vakavuus on suhteellinen käsite. Merkittävinä riskeinä kaivannon suunnittelussa ja toteutuksessa pidetään kaivannon sortumista tai ihmishenkien menetyksiä. Todennäköisyyden arviointi on vaikeaa, koska ei ole tiedossa kattavia tilastoja kaivannoissa toteutuneista riskeistä, jotta todennäköisyys voitaisiin laskea tilastollisin menetelmin. Siksi todennäköisyyden arviointi joudutaan tekemään subjektiivisin keinoin parhaan tietämyksen mukaisesti.

7.2.7 Riskien suuruuden arviointi apuna riskien arvioinnissa

Riskimatriisin avulla voidaan arvioida riskien suuruus eli yhteisvaikutus riskin todennäköisyyden ja vakavuuden avulla. Taulukossa 7 on esitetty riskien suuruuden arviointi ja riskimatriisi. Esimerkiksi riskimatriisia voidaan käyttää seuraavasti: jos riskin vakavuus suuri on (3) ja arvioitu todennäköisyys on mahdollinen (2), tulokseksi saadaan merkittävä riski (6). Taulukosta 8 nähdään tarvittavat toimenpiteet riippuen riskin suuruudesta. Edellä mainitulle esimerkille nähdään taulukosta 6, että riski on merkittävä, ja siksi vaaditaan välittömiä tarvittavia toimenpiteitä. Riskimatriisin malli, asteikko ja koko voidaan valita halutulla tavalla. Taulukon koko vaikuttaa siihen, kuinka tarkasti halutaan tarkistella riskien eroja. Tässä riskienhallintamenetelmässä esitetään käytettäväksi 3x3- riskimatriisia (taulukko 7), joka on esitetty myös kirjassa Rakenteellisen turvallisuuden varmistaminen – Erityismenettelyn soveltamisohje (RIL 241-2007).

Taulukko 7. Riskien suuruuden arvioinnin esimerkkitaulukko.

RISKIEN SUURUUDEN ARVIOINTI

Riskin seurausten vakavuus
- Mitä riskin toteutumisesta normaalisti seuraa
- Mikä on seuraus pahimmassa tapauksessa

Riskin todennäköisyys
- Miten usein riskin toteutuminen on mahdollista
- Miten usein riski toteutuu

	Vahinkolaji	1 Lieviä / vähäisiä	2 Merkittäviä / keskivakavia	3 Erittäin vakavia / suuria
H	Henkilövahinko	Lieviä loukkaantumisia, sairasloma alle 14 vrk	Vakavia loukkaantumisia, sairasloma yli 14 vrk	Halvaantumiset ja kuoleman tapaukset
RY	Rakenne- ja ympäristövahinko	Lieviä rakenne- ja omaisuusvahinkoja	Merkittäviä rakenne- ja omaisuusvahinkoja	Suuria rakenne- ja omaisuusvahinkoja
L	Liiketoimintahaitta	Lieviä liiketoimintavahinkoja	Keskivakavia liiketoimintavahinkoja	Vakavia liiketoimintavahinkoja
V	Viivästyminen	Lieviä viivästymisiä urakoinnissa / alle 1 viikko	Merkittäviä viivästymisiä urakoinnissa / 1-4 viikkoa	Suuria viivästymisiä urakoinnissa kuukausi - kuukausia
K	Kustannusmenetys	10 000 € tai 1 % rakennuskustannuksista	100 000 € tai 1-10 % rakennuskustannuksista	1 000 000 € tai yli 10 % rakennuskustannuksista

Riskin todennäköisyys	Tapahtuman esiintymis-laajuus		Lieviä / vähäisiä (1)	Merkittävä (2)	Erittäin vakavia ja suuria (3)
Todennäköinen esiintyy ainakin kerran vuodessa tai yli 50% työkohteista		Todennäköinen 3	Kohtalainen riski 3	Merkittävä riski 6	Tuntuva riski 9
Mahdollinen esiintyy ainakin kerran 2 vuodessa tai yli 10% työkohteista		Mahdollinen 2	Vähäinen riski 2	Kohtalainen riski 4	Merkittävä riski 6
Epätodennäköinen esiintyy ainakin kerran 5 vuodessa tai alle 2% työkohteista		Epätodennäköinen 1	Mitätön riski 1	Vähäinen riski 2	Kohtalainen riski 3

Taulukko 8. Esimerkki riskin suuruudesta ja tarvittavista toimenpiteistä.

Riskin suuruus	Tarvittavat toimenpiteet riskin vähentämiseksi
Mitätön riski	Ei tarvita toimenpiteitä
Vähäinen riski	Seurataan
Kohtalainen riski	Ryhdyttävä toimiin
Merkittävä riski	Välittömät toimenpiteet
Tuntuva riski	Välittömät toimenpiteet

7.2.8. Toimenpiteet ja vastuutahot

Riskienhallintamenetelmässä viimeinen kokous käsittelee riskien edellyttämiä toimenpiteitä. Toimenpiteet laaditaan aikaisemmissa kokouksissa havaittujen riskien tunnistamisen ja arvioinnin pohjalta. Toimenpiteiden miettimisellä ja päättämisellä saadaan määritettyä toimenpide-ehdotus sekä vastuutaho riskin hallitsemiseksi. Lisäksi toimenpide-ehdotuksilla täydennetään suunnitelmia eli nykyisiä varautumisia. Toimenpiteillä on tarkoitus poistaa, siirtää tai vähentää riskin vaikutusta.

7.2.9 Riskin dokumentointi

Riskienhallinnan viimeinen vaihe on huolellinen dokumentointi, joka tarkistutetaan riskienhallinnan kokouksessa olevien asianomaisten kesken. Dokumentoinnissa kuvataan tarkkaan kirjallisesti riskien tunnistaminen, arviointi ja toimenpiteet. Dokumentoinnissa pyritään mahdollisimman suureen tarkkuuteen, jotta riskin poistaminen, siirtäminen tai vähentäminen on kirjattu yksiselitteisesti. Muutosten huomioiminen ja dokumentoinnin pitäminen ajan tasalla, riskipäiväkirjan muodossa on tärkeää.

7.3 Riskienhallintasuunnitelman loppuraportti

7.3.1 Sisältö

Riskienhallintasuunnitelman loppuraportti on työselostus, joka sisältää toteutetun riskianalyysityön kuvauksen, kuvauksen analyysin keskeisistä tuloksista, tulosten tulkinnan ja johtopäätökset sekä liitteenä riskienhallintasuunnitelmalomakkeet, keskeiset analyysissä käytetyt kaaviot kartat tms. Riskianalyysin johtopäätöksenä annetaan usein vähintään toimenpidesuosituksia havaittujen riskien pienentämi-

seksi. Usein riskianalyysiraporttia käytetään apuna toimenpidepäätöksiä tehtäessä, mutta jos toimenpiteet ja niille nimetyt vastuuhenkilöt ovat raporttia laadittaessa jo tiedossa, ne kannattaa kirjoittaa raporttiin. (Heikkilä et al., 2007)

Riskianalyysin puheenjohtaja (vetäjä) ja sihteeri (kirjuri) ovat yhdessä vastuussa riskienhallintasuunnitelman loppuraportin laatimisesta. Riskianalyysin vastuuhenkilö (tai ohjausryhmä) puolestaan on yleensä vastuussa loppuraportin tarkastamisesta, hyväksymisestä, jakelusta ja arkistoinnista. (Heikkilä et al., 2007)

7.3.2 Riskienhallintasuunnitelman loppuraportin käytön merkitys kaivannoissa

Rakennusvalvontaviranomaisen pyynnöstä täytyy vaativissa rakennushankkeissa suorittaa rakenteellisen turvallisuuden erityismenettely. Riskienhallintasuunnitelman loppuraportilla voidaan suorittaa ne velvoitteet, jotka mainitaan Suomen rakentamismääräyskokoelman määräyksessä A1, 3.2.1 rakenteellisen turvallisuuden erityismenettelystä. Rakenteellisen turvallisuuden erityismenettelyn tavoitteena on estää esim. resurssien ja tiedon puutteesta johtuvia tai inhimillisiä virheitä.

Riskienhallintasuunnitelman loppuraporttia voidaan käyttää hyväksi myös urakoitsijan valinnassa. Hankkeeseen liittyvät riskit on siihen valmiiksi kartoitettu ja tarjoajia voidaan vaatia esittämään tarjouksessaan toimenpiteet riskien hallitsemiseksi. Suunnitelmaa merkityn vastuuhenkilön vaihtaminen voi tarkoittaa myös vastuun siirtämistä tilaajalta suunnittelijalle tai urakoitsijalle. (Olenius, 2006)

Riskienhallintasuunnitelma voi olla myös yhteinen työkalu rakennuttajan, suunnittelijan ja urakoitsijan kesken rakennusvaiheessa. Riskienhallintasuunnitelmaan voi tulla muutoksia rakentamisen aikana. Silloin taulukkoa tulee päivittää riskipäiväkirjamuotoon esimerkiksi merkitsemällä toimenpiteitä suoritetuiksi, lisäämällä uusia tarpeellisia toimenpiteitä, vaihtamalla tarvittaessa vastuuhenkilöitä, päivittämällä riskien vakavuus niiden muuttuessa tai lisäämällä suunnitelmaan uusia havaittuja riskejä. (Olenius, 2006)

7.4 Työkaluja riskienhallintaan

7.4.1 Riskimuistio

Riskienhallintaan liittyy olennaisesti tiedonkulku hankkeiden eri osapuolten välillä ja tapahtuneiden asioiden kirjaaminen vastaisuuden varalle. Kokemustiedon hyväksikäyttö myös osaamistason nostamiseksi sekä virheiden toistamisen vähentämiseksi on osa hankkeiden riskienhallintaa. Kaikki hankkeiden asiakirjat osaltaan toimivat dokumentoinnin välineinä, mutta erityisestä riskimuistiosta on helppo havaita hankkeisiin osallistuneiden kokemat ongelmakohdat. Taulukossa 9 on esitetty kuvitteellinen riskimuistio. (Olenius, 2006)

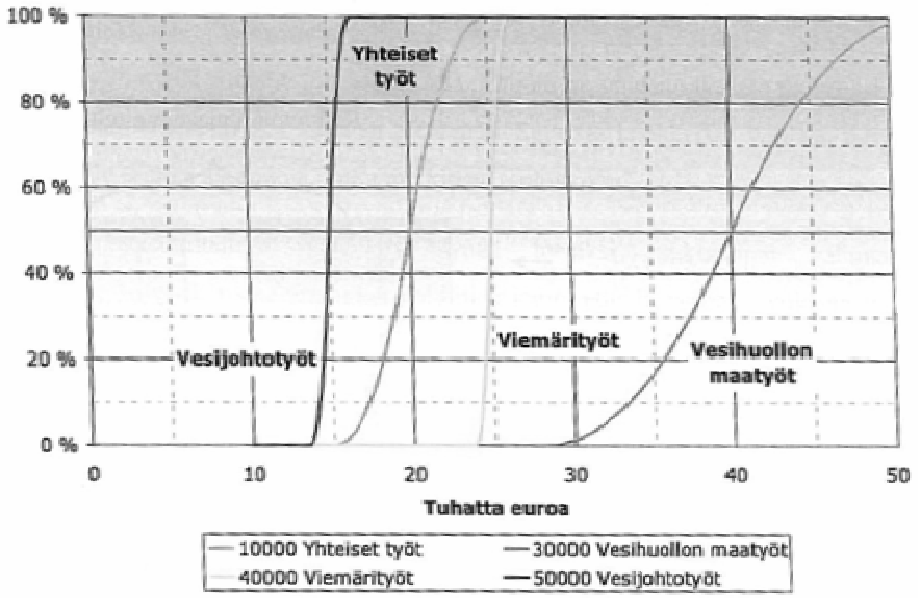
Taulukko 9. Kuvitteellinen riskimuistio (Olenius, 2006)

Riskimuistio		
Pohjavesialueen suojaus ja vedenottamon saneeraus		
Päivämäärä	Tapahtuma	Aiheuttaja
23.4.2002	Pohjavesialueen pilaantumisen vaara	Säiliöauto-onnettomuus
1.5.2002	Vedenottamoon kohdistunut ilkivalta	Epäiltynä nuoriso
13.6.2002	Suojaukseen käytettävän muovin toimituksen viivästyminen	Materiaalitoimittajan erehdys
3.9.2002	Saneerauksen toteutuksen huono laatu ja aikataulun venyminen	Urakoitsijan taitamattomuus laitteiden osalta, työnjohtajan osaamattomuus
23.10.2002	Ongelmia biologisen suodattimen käyttöönotossa	Pakkanen

7.4.1 Ohjelmistot

Riskienhallinnassa taloudelliset menetykset liittyvät lähes kaikkiin hankkeen etenemistä hankaloittaviin tapauksiin. Kustannusriskien hallintaan on kehitetty useita erilaisia ATK-ohjelmistoja, joilla voidaan tarkastella ja optimoida sekä kustannuksia että myös esimerkiksi aikatauluja. Ohjelmistojen avulla kustannusarvioita

ja aikatauluja voidaan testata erilaisilla todennäköisyyksillä. Nämä ohjelmistot helpottavat monimutkaisten todennäköisyyslaskelmien suorittamista. Useat ohjelmistot tuottavat myös monenlaisia havainnollisia kuvaajia kustannusten luonteen ja niiden keskinäisten suhteiden esittämisen tueksi. Kuvassa 27 on esitetty esimerkki vesijohdon ja viemärin johto-osuutta koskevan hankkeen kustannuksista sekä todennäköisyydestä, millä kustannukset toteutuvat. Kuvasta 27 voidaan havaita, että maatyöt muodostavat kriittisen kustannuserän hankkeen kokonaiskustannuksien ajatellen. (Olenius, 2006)



Kuva 27. Esimerkki vesihuoltojärjestelmähankkeen kustannusten jakautumisesta. (Olenius, 2006)

8. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

8.1 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli selvittää tyypillisimmät riskit kaivannon suunnittelun ja toteutuksen aikana. Lisäksi tavoitteena oli kehittää riskienhallintaan menetelmä kaivantoja varten hyödyntäen yleisiä julkaisuja, haastatteluja sekä Ramboll Finland Oy:n Infran hallinnan sisäisiä riskienhallinnan materiaaleja.

Kirjallisuusselvityksessä on kerrottu Suomessa olevat tyypillisimmät kaivantotyypit. Katsauksessa käsitellään yleisellä tasolla suunnitteluohjeissa olevia kaivannon mitoituksen ilmiöitä ja kaivannon ympäristövaikutuksia. Selvityksessä on esitetty muutamia kaivantoon liittyviä lakeja, määräyksiä, ohjeita sekä pääkaupunkiseudun kaivutyöohje. Lisäksi kirjallisuusselvityksessä on lyhyesti kerrottu laskentateoriat GeoCalcille, Plaxis 2D- elementtiohjelmalle ja Helsingin Ramboll Finlandin kaivannon mitoitusohjelmalle ”Tuki”.

Riskienhallinta rakennushankkeessa kappaleessa on käsitelty sanan riski määritelmiä. Sana riski on määritelty SFS-IEC-60300-3-9 mukaan ”määrätyn vaarallisen tapahtuman esiintymistaajuuden, tai -todennäköisyyden, ja seurauksen yhdistelmäksi”. Riskejä voidaan analysoida kvalitatiivisilla tai kvantitatiivisilla menetelmillä. Kirjallisuuskatsauksessa on selvitetty riskienhallinta- ja riskianalyysikäsitteet sekä riskianalyysimenetelmät. Katsauksessa käsiteltiin myös riskianalyysi rakentamisessa sekä laatusuunnitelmat ja - varmistukset rakentamisessa osana riskienhallintaa.

Työhön kerättiin havaittuja riskejä kaivannon suunnittelussa ja toteutuksessa haastattelemalla asiantuntijoita suunnittelu- ja urakoitsijasektorilta. Haastatteluissa käytettiin haastattelupohjaa, johon oli kerätty valmiita kysymyksiä tiedon saamiseksi. Haastattelujen yhteydessä osa ilmi tulleista riskeistä olivat samoja kuin ohjeissa ja määräyksissä mainitut huomioonotettavat tekijät. Haastatteluiden tulok-

sena kerättiin myös paljon riskienhallintaan liittyvää tietoa, jota ei aikaisemmin ole kootusti dokumentoitu.

Soveltamalla riskienhallinnan kirjallisuutta, haastatteluja ja Ramboll Finland Oy:n Infran hallinnan materiaaleja, saatiin aikaiseksi kaivantojen riskienhallintamenetelmä. Riskienhallintamenetelmässä kuvataan, kuinka kaivantojen riskienhallinta viedään läpi kaivantohankkeessa. Tarkoituksena on tunnistaa kaivantohankkeessa olevat riskit ja miettiä niiden hallintakeinoja. Diplomityötä varten tehdyissä haastatteluissa kerättyä tietoa voidaan hyödyntää riskienhallinnassa, esimerkiksi teknisen tarkastuslistan luomisessa; kattava tarkastuslista helpottaa riskien tunnistamista huomattavasti.

Riskienhallintaan kuuluu neljä vaihetta. Ensimmäinen vaihe on riskin tunnistaminen, eli havaita hankkeen riskit ja miettiä niiden seuraukset. Toinen vaihe on riskin arviointi, jossa mietitään riskin vakavuutta, todennäköisyyttä sekä vakavuudesta ja todennäköisyydestä muodostuvaa yhteisvaikutusta. Kolmas vaihe on toimenpiteet, joilla on tarkoituksena pienentää, siirtää tai poistaa riski. Viimeinen vaihe on dokumentointi, jossa kirjataan selkeään muotoon riskit ja sen toimenpiteet sekä valitaan vastuuhenkilö, joka suorittaa tarvittavan hallintatoimenpiteen.

Riskienhallinnan loppuraportti tehdään riskienhallintasuunnitelman pohjalta. Riskienhallintasuunnitelman loppuraportti on työselostus, joka sisältää toteutetun riskianalyysityön kuvauksen, kuvauksen analyysin keskeisistä tuloksista, tulosten tulkinnan ja johtopäätökset sekä liitteenä riskienhallintasuunnitelmalomakkeet.

Riskienhallinnan loppuraportti palvelee myös viranomaisia kohteen kuuluessa RakMK A1, 3.2.1 määräyksen mukaisen erityismenettelyn piiriin. Toisaalta rakennuttaja voi käyttää riskienhallintasuunnitelman loppuraporttia urakkatarjouskilpailussa, kun urakoitsijat arvioivat riskejä kohteen maanrakentamisessa. Lisäksi riskienhallintasuunnitelman loppuraporttia hyödynnetään urakkavaiheessa, kun ollaan tekemisissä havaittujen riskien ja niitä ehkäisevien toimenpiteiden kanssa.

8.2 Johtopäätökset

Rakennuskaivanto-ohjeessa on selitetty kattavasti ja yksityiskohtaisesti kaivannon suunnittelu ja mitoitus. Rakennuskaivanto-ohjeen mukaiset kaivannon ympäristön vaakasiirtymäraja-arvot on määritetty aika pieniksi, mitkä voisivat todellisuudessa olla suuremmat. Näiden siirtymien arviointi on jäänyt yleensä vähäiseksi suunnittelussa, mutta uusilla ohjelmilla niiden laskenta onnistuu. Siirtymät näyttävät olevan laskelmissa mitoittavin tekijä, mikä voi johtaa järeämpään ponttiin mitä muuten tarvittaisiin. Vaakasiirtymätarkastelussa on omat riskinsä, kuinka suuren vaakasiirtymäarvon uskaltaa mitoituksen perusteella antaa.

Rakenteellisen turvallisuuden erityismenettely (RakMK A1, 3.2 Erityismenettely) on todettu tarpeelliseksi tapahtuneiden rakennesortumien ja suuronnettomuuden vaaratilanteiden johdosta. Mikäli rakennushanke kuuluu erityismenettelyn piiriin, systemaattisella riskienhallintamenetelmällä voidaan täyttää osa määräyksen vaatimista ehdoista. Riskienhallinnassa tehdään subjektiivisin keinoin parhaan tietämyksen mukaisesti riskin tunnistaminen, arviointi ja toimenpiteet. Tämän takia kaivannon riskienhallinnassa asiantuntevalla ja monipuolisella ryhmäkokoonpanolla on suuri merkitys. Lisäksi puheenjohtajalla (vetäjällä), sihteerillä (kirjurilla) ja riskianalyysiryhmän asiantuntijajäsenillä ovat omat roolinsa kokouksessa. Tällöin heidän pitää opetella ja ymmärtää tehtävänsä, jotta riskienhallinta onnistuisi. Siksi riskienhallinnan koulutuksella pystyttäisiin lisäämään kokouksesta saama hyöty.

Esimerkiksi kaivantohankkeen asiantuntevan riskienhallintaryhmän kokoonpanoon suositellaan kuuluvan pää-, rakenne- ja geosuunnittelija, rakennuttaja ja urakoitsijan edustaja. Eri sidosryhmien edustajat eri sektorilta pystyvät ryhmänä parhaiten tunnistamaan riskit ja päättämään toimenpiteet. Riskien hallinnassa eri osapuolten edustajat avartavat toistensa näkemystä laajemmaksi, jolloin saadaan kokonaisvaltainen näkemys ja laatu.

Kaivannon suunnittelussa ja toteutuksessa on tiukat työturvallisuusmääräykset riskien ehkäisemiseksi. Suurelta osin määräyksien sisältö perustuu kaivannon

suunnittelussa RakMK B3 Pohjarakenteisiin, RIL 181-1989 Rakennuskaivanto-ohjeeseen ja RIL 194-1992 Putkikaivanto-ohjeeseen. Näillä ohjeilla ja määräyksillä pyritään välttämään: ihmisten loukkaantumisia tai hengen menetyksiä, kaivannon tai sen osien sortumisia ja ympäristövahinkoja. Työturvallisuuslaki on Suomessa tiukka ja määräyksien noudattamattomuudella on tiukat rangaistukset.

Riskianalyysin menetelmille ja laadulle on julkaistu paljon kirjallisuutta. Pääosin riskianalyysin menetelmät ja käyttötarkoitukset on kirjoitettu prosessiteollisuuden näkökulmasta. Näin ollen kirjallisuudessa mainitut riskianalyysimenetelmät eivät välttämättä suoraan sovellu kaivantohankkeille. Suomenkielistä kirjallisuutta, jossa on kuvattu riskianalyysimenetelmää rakentamisessa, löytyy harvakseltaan. Riskianalyysimenetelmä rakentamisessa pohjautuu lähinnä yhteen käytettyyn riskianalyysimenetelmään.

Diplomityössä sovellettu riskienhallintamenetelmä pohjautuu potentiaalisten ongelmien analyysimenetelmään, jota on aikaisemmin muokattuna sovellettu Ramboll Finlandin Infran hallinnan toimesta tie- ja vesihuoltohankkeissa. Liitteessä 7 on potentiaalisten ongelmien analyysi (POA) – menetelmän kuvaus. Diplomityössä menetelmää on muokattu paremmin kaivantohankkeen erityispiirteitä huomioonottavaksi, erityisesti riskienhallintamenetelmä noudattaa kirjan Rakenteellisen turvallisuuden varmistaminen – Erityismenettelyn soveltamisohjetta (RIL 241-2007). Valittua menetelmää on käytetty Ramboll Finland Infran hallinnan toimesta aikaisemmissa hankkeissa, ja siksi on päädytty soveltaen hyödyntämään samaa riskienhallintamenetelmää kaivantohankkeelle. Kaivantojen kohdalla käytetyllä menetelmällä saadaan laajasti tunnistettua riskit ja mietittyä niille toimenpiteet. Jos halutaan täydentää käytettyä riskianalyysimenetelmää, tarvitaan rinnalle toisen menetelmän käyttöä, jolla tuetaan käytetyn menetelmän yleispiirteisiä toimenpide-ehdotuksia riskin pienentämiseksi. Esimerkkinä voisi olla sopiva täydentävä riskianalyysimenetelmä uudelle rakenneratkaisulle kaivannon teossa, jolla pystyisi selvittämään uuden rakenneratkaisun rakennetekniset riskit.

Riskienhallinnassa vaikein vaihe on riskin todennäköisyyden arviointi. Tämä johtuu siitä, että arviointi tehdään subjektiivisin perustein parhaan tietämyksen mukaisesti. Riskin todennäköisyyden arviointi tehdään vain asiantuntijatiedon varassa. Tämä johtuu siitä, että kaivannoista ei ole tarpeeksi kattavia tilastoja, jotta todennäköisyyksiä voitaisiin arvioida tilastollisin menetelmin. Kaivannot ovat tapauskohtaisia, esimerkiksi jokaisessa hankkeessa on omanlaiset pohjasuhteet ja kaivannon vieressä olevat ympäristörakenteet. Tämän takia myös riskit ovat tapauskohtaisia ja siksi tilastojen tekeminen on vaikeaa. Kuitenkin riskien tilastollisesta kartoittamisesta olisi hyötyä, koska tällöin voitaisiin kohdistaa erityishuomiota niihin seikkoihin, joissa useimmiten on ollut ongelmia.

Riskienhallinta on kehittyvä ala. Riskienhallinta tulee kehittymään ajan saatossa esimerkiksi, kun kohteita määrätään erityismenettelypiiriin kuuluvaksi. Silloin riskienhallinnan menetelmä(t) ja työkalut tulevat paranemaan ja kehittymään paremmin soveltuviksi rakennushankkeisiin. Riskienhallintaa ei ole kovinkaan paljon sovellettu muihin geotekniikan aloihin, kuten esimerkiksi pohjanvahvistukseen tai pohjaveden hallintaan. Hankkeet ovat aina rakentamisen osa-alueilla tapauskohtaisia, jolloin toisen kohteen riskienhallintaa ei pystytä suoraan käyttämään muissa kohteissa. Siksi riskienhallintamenetelmien kehittäminen ja niiden käyttöönotto eri rakentamisen osa-alueilla on haastavaa.

Diplomityötä varten tehtyjen haastattelujen perusteella näyttää siltä, että suunnittelussa ja toteutuksessa ei välttämättä huomata riskejä, joita on mainittu ohjeissa, normeissa ja määräyksissä. Lisäksi haastatteluissa tuli ilmi myös riskejä, joita ei ole välttämättä mainittu määräyksissä tai ohjeissa. Esimerkiksi suuri riski saattaa olla nopea aikataulu. Tällöin ei välttämättä huomata oleellisia asioita, joilla voi olla huomattavat seuraukset ja vaikutukset. Lisäksi jos aikataulusta ollaan jäljessä, sitä voidaan ottaa kiinni projektissa ”oikaisuilla”.

Suunnittelussa kaivantosuunnitelmien pyyntö voidaan saada vasta urakoitsijoilta tai rakennuttajalta, kun kaivannon teko olisi käynnistymässä lyhyellä varoitusajalla. Kaivannon mitoitus tehdään kiireellä, missä saattaa esiintyä virheitä ja kuvien

piirroksista saattaa puuttua oleellisia tietoja. Kiireen takia ei huomata riskejä, myös laatujärjestelmän noudattamisesta tingitään esim. sisäinen tarkastus jää puutteelliseksi.

Riskien tunnistamiseen on useita keinoja. Yksi mahdollisuus on suorittaa sisäinen tarkastus, eli yrityksen toinen suunnittelija, joka ei kuulu hankkeen suunnitteluryhmään, käy suunnitelmat läpi. Toisaalta viranomainen voi määrätä ulkopuolisen suunnitteluyrityksen tarkistamaan suunnitelmat (RakMK A1 11.3 Ulkopuolinen tarkastus). Lisäksi vaikeissa kohteissa valvontaviranomainen voi määrätä kohteen rakenteellisen turvallisuuden erityismenettelypiiriin kuuluvaksi (RakMK A1, 3.2 Erityismenettely). Suunnittelijat, urakoitsijat ja/tai rakennuttajat joutuvat ottamaan huomioon riskit, miettimään toimenpiteet riskien pienentämiseksi ja dokumentoimaan ne. Riskienhallinnan loppuraportin avulla eri osapuolet pystyvät valvomaan työn toteutusta tehokkaammin ja puuttumaan havaittuihin riskeihin.

9 LÄHDE- JA KIRJALLISUUSLUETTELO

A6 Oy, 2008, KOY Hesperian tornien pysäköinti, Pohjoinen Hesperiankatu 23, Julkisivu etelään ja länteen, suunnittelijat Arkkitehtiryhmä A6 Oy,

Brinkgreve R.B.J & Broere W., 2004, Plaxis 2D – version 8 program hand book, Plaxis bv P.O Box 572, 2600 AN DELFT, Netherlands, ISBN 90-808079-6-6

Hakulinen M., 2008, Suomen geoteknillinen yhdistys ry (SGY), Ympäristögeotekniikan perusteet, Luonnos 11.4.2008

Hakulinen M., 2003, Teräs pohja- ja maarakentamisessa oppimateriaali, kotisivut: http://www.terasrakenneyhdistys.fi/julkaisut/mvr/mpr-oppik.pdf (luettu 12.06.2008)

Hartikainen J., Hjulgren J., Lotvonen S., 1989, RIL 181-1989 Rakennuskaivantoohje, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y, Vammalan Kirjapaino Oy, Vammala 1989, ISBN 951-758-216-1

Heikkilä A-M., Murtonen M., Nissilä M., Virolainen K. & Hämäläinen P., 2007, Riskianalyysien laatu: vaatimukset tilaajalle ja toteuttajalle, VTT:n tutkimusraportti, Nro: VTT-R-03718-07, 24.04.2007, kotisivut: http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2007/Tutkimusraportti_VTT_R_03718_07.pdf (luettu 02.07.2008)

HKR/MHo, 2008, Kaivutyöt ja tilapäiset liikennejärjestelyt pääkaupunkiseudulla, kotisivut: http://www.hel2.fi/Helsinginseutu/Liitteet/PKS_tekninen_ohje.pdf (luettu 04.07.2008)

Junnonen J.-M., 2006, Talonrakentamisen laadunvarmistus, luentomoniste 2006, Rak-63.235 Rakennustuotantotalous, Teknillinen korkeakoulu, Espoo

Kontusalmi J., 2008, Maanrakennusyrityksen laadunhallintajärjestelmän kehittäminen, 2008, Insinöörityö, Stadia Helsingin ammattikorkeakoulu, kotisivut: https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/38573/stadia-1208864523-9.pdf?sequence=1 (luettu 08.07.2008)

Koski H., Mäkelä T., 2006, VTT Rakentamisen liiketoiminnat ja prosessit, Rakennusteollisuus RT ry, Rakennustietosäätiö RTS ja Työturvallisuuskeskus, Rakennustieto Oy, Tammer-Paino Oy, Tampere 2006, ISBN 951-682-789-6

Lähteenmäki M., 2008, Elementtimenetelmien perusteet luentomoniste, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, kotisivut: http://www2.lut.fi/kote/kurssit/2082/moniste/fem.pdf (viitattu 23.06.2008)

Länsivaara T., 2008, Vianova Novapoint GeoCalc 1.1, Tukiseinä – erikoistilanteet, Tampereen teknillinen yliopisto, kotisivut: Ramboll Finland:n intranet. (luettu 15.6.2008)

Noeskoski J., 2008, Tiehallinnon teräsbetonisiltojen korjaushankkeiden kehittäminen riskienhallinnan näkökulmasta, Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere

Olenius T., 2006, Riskien hallinta vesihuoltohankkeessa, Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, Espoo

Pylkkänen J., 2005, Ramboll Finland Oy, Helsinki

Ramboll Finland Oy, 2008, Skanska kodit Oy, Helsinki, Töölö, As. Oy Hesperiankatu 25 b ja c, Ponttiseinät ja tarkkailumittauspisteet kuvat sekä leikkauskuvat, Leskinen P. & Malk P., Ponttiseinärakennekuvat, Pousi T.

RakMK A1,3.2 Erityismenettely, 2006, A1 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakentamisen valvonta ja tekninen tarkastus, Määräykset ja ohjeet 2006, Ympä-

ristöministeriön asetus rakentamisen valvonta ja tekninen tarkastus, kotisivut: http://www.finlex.fi/data/normit/28238-A1su2006.pdf (luettu 15.09.2008)

Rantamäki M. & Tammirinne M., 1996, Pohjarakennus 465 Otatieto, Karisto Oy, Hämeenlinna 1996, ISBN 951-672-160-5

Ratu 1183-S, 2008, Räjäytys-, louhinta- ja kaivutöiden turvallisuus, kotisivut: http://212.149.67.212/03ohjeita/C700tyoturva/rajaytys.html#kay (luettu 25.06.2008)

Ravaska O., 2007, Opetusmoniste 2007, Rak-50.123 Talonrakennuksen maatyöt ja pohjarakenteet, Teknillinen korkeakoulu, Espoo

Rissa K., 1999, Riskit Hallintaan, Työturvallisuuskeskus, Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä 1999, ISBN: 951-810-114-0

SFS-EN 1997-1, Eurokoodi 7: Geotekninen suunnittelu. Osa 1: Yleiset säännöt, Suomen standardisoimisliitto SFS

SFS-EN 60300-3-9, 2000, Teknisten järjestelmien riskianalyysi, Helsinki: Suomen standardisoimisliitto

Sjöholm M., 1992, RIL 194-1992 Putkikaivanto-ohje, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y, Lahden Kirjapaino ja Sanomalehti Oy, ”LahtiPrint”-Lahti 1992, ISBN 951-758-276-5

Suominen A., 2003, Riskienhallinta, WSOY, Dark Oy, Vantaa 2003, ISBN 951-0-26878-X

Timonen E., 1986, RIL 166 Pohjarakenteet, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto r.y, Hangon Kirjapaino Oy, Hanko 1986, ISBN 951-758-108-4

Tolonen T., 2003, Rakennushankkeen riskien arviointi kustannusarviohankkeessa, Tampereen teknillinen yliopisto julkaisuja 419, väitöskirja, Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere

Työsuojelu, 2008, kotisivut: http://www.tyosuojelu.fi/upload/kaivutyo.doc (luettu 20.09.2008)

Työterveyslaitos, 2008, Maa- ja vesirakennus. 36 § Kaivuutyö ja kaivannon tuenta (VNp 629/1994) kotisivut: http://www.ttl.fi/Internet/Suomi/Aihesivut/Rakennusterveys/Turvapakki/Kaivuuty%C3%B6+ja+kaivannon+tuenta.htm (luettu 25.06.2008)

Vepsäläinen P., 2008, Opetusmoniste 2008, Rak-50.149 Geotekniikan numeeriset menetelmät, Teknillinen korkeakoulu, Espoo

Vepsäläinen P., 2004, Plaxis-ohjelman malleja: Maan myötölujeneva malli ja pehmeän maan mallit luentomoniste, Rak-50.158 Maamekaniikan jatkokoulutusopintojakso, syksy 2004 Suunnitteluparametrien määrittäminen kenttä- ja laboratoriokokeista, Teknillinen korkeakoulu, Espoo

VTT, 2008, Hyvä riskianalyysi, kotisivut: http://www.vtt.fi/proj/riskianalyysit/riskianalyysit_hyva_riskianalyysi.jsp (luettu 02.07.2008)

Ympäristöministeriö, 2007, Erityismenettely rakentamisen riskienhallintaan, kotisivut: http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=68998&lan=fi (luettu 19.12.2008)

Åström G., 2007, RIL 241-2007 Rakenteellisen turvallisuuden varmistaminen, Erityismenettelyn soveltamisohje, Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry, Valopaino Oy, 2007, ISBN 978-951-758-472-2

Haastattelut

Korhonen Osmo, Helsingin kaupungin kiinteistövirasto Geotekninen virasto, haastattelu 30.9.2008, Helsinki

Malk Pentti, Ramboll Finland Oy, haastattelu 18.9.2008, Helsinki

Melander Kari, Ramboll Finland Oy, haastattelu 29.9.2008, Helsinki

Olaste Antero, Ramboll Finland Oy, haastattelu 11.9.2008, Helsinki

Tarkkio Tarmo, Skanska Infra Oy, haastattelu 10.10.2008, Helsinki

LIITTEET

Liite 1 Kaivannon murtumistapakuvia

Liite 2 Turvallisuusasiat kaivutöiden suunnittelussa

Liite 3 Talonrakennushankkeen laadunvarmistus

Liite 4 RakMK A1, 3.2 Erityismenettely

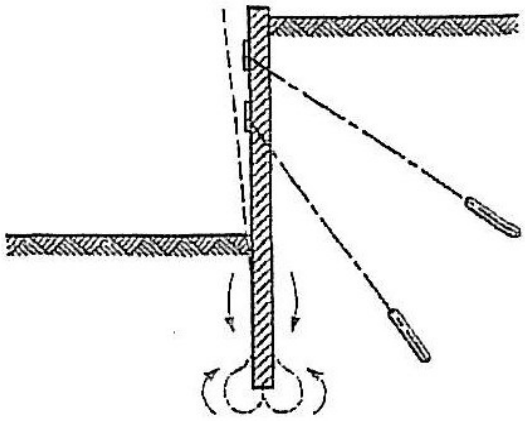
Liite 5 Erityismenettely rakentamisen riskienhallintaan

Liite 6 Vaatimuksia riskianalyysien toteuttajille ja tilaajalle

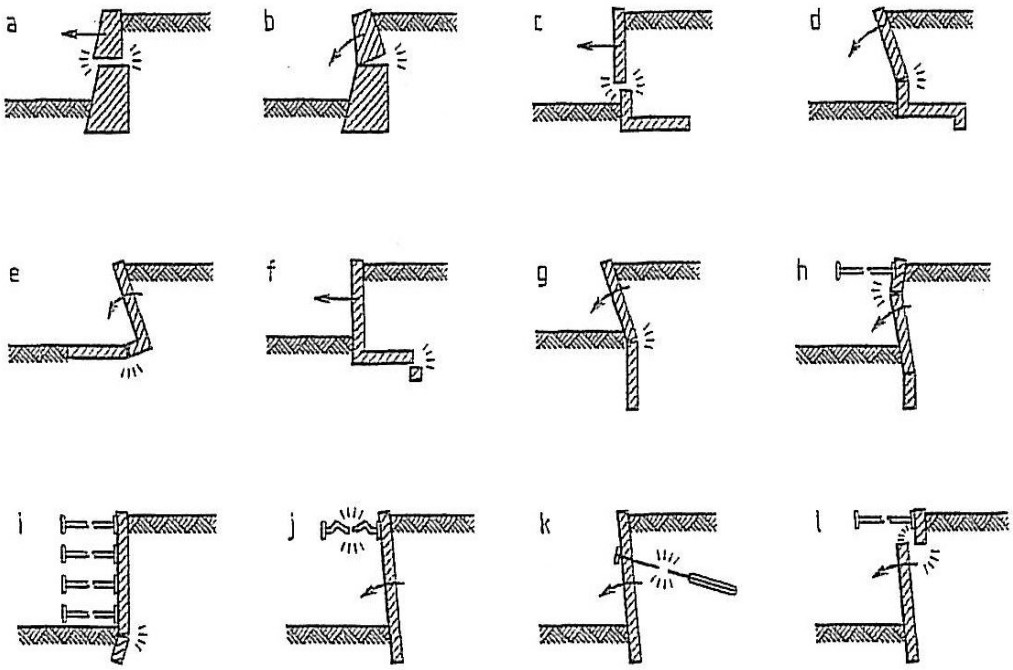
Liite 7 Potentiaalisten ongelmien analyysi (POA) – menetelmän kuvaus

Liite 8 Esimerkkihanke: KOY Hesperian tornien pysäköinti (erillinen liite)

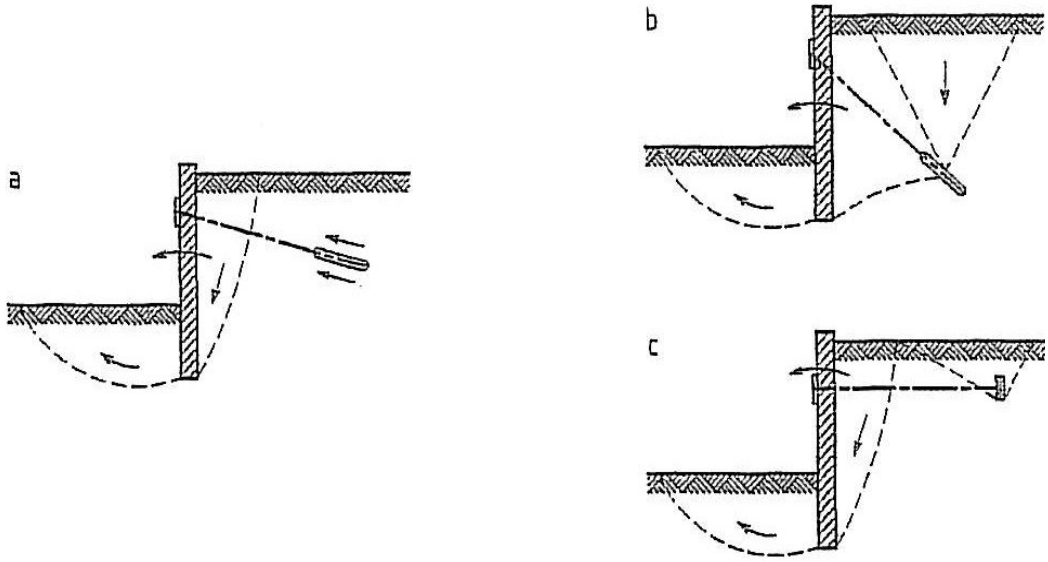
LIITE 1: Kaivannon murtumistapakuvia (SFS-EN 1997-1)



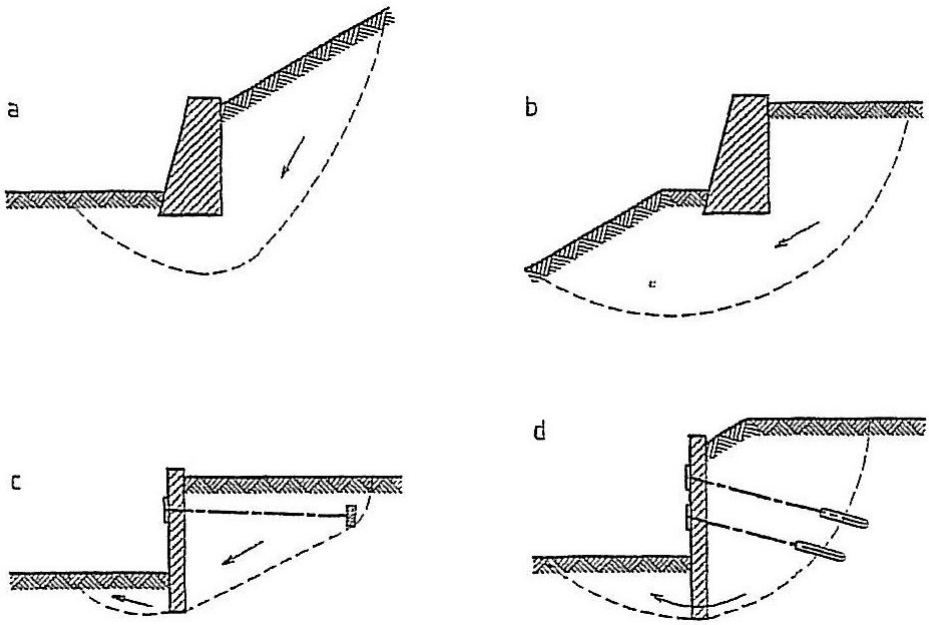
Kuva 28. Upotettujen seinien pystysuuntainen murtuminen.



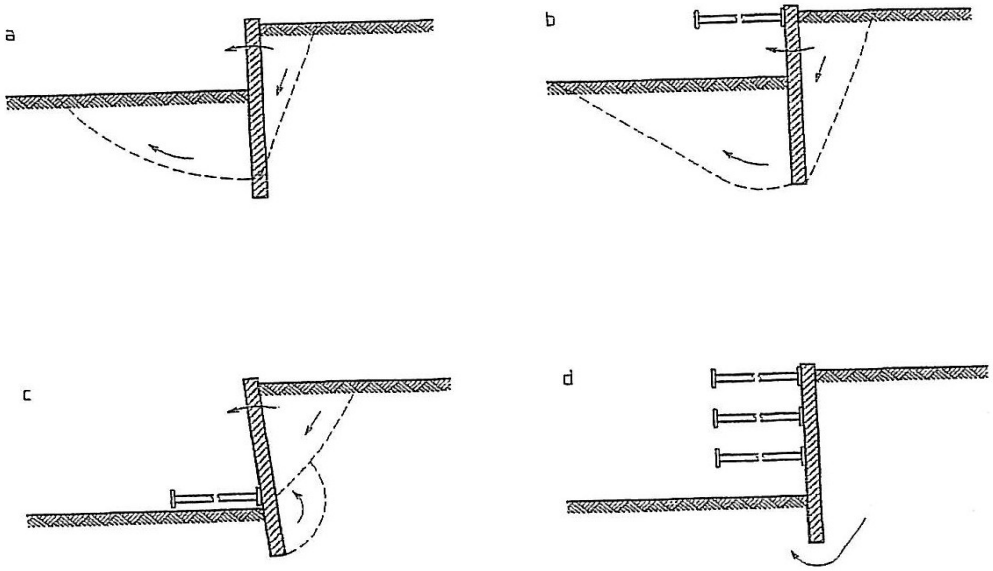
Kuva 29. Tukirakenteiden rakenteellisia murtumistapoja



Kuva 30. Vetoankkureiden murtumistapoja



Kuva 31. Kokonaisvakavuuden menettämisen murtumistapoja



Kuva 32. Upotettujen seinien kiertymisestä aiheutuvia murtumistapoja.

LIITE 2 Turvallisuusasiat kaivutöiden suunnittelussa (Työsuojelu, 2008)

MUISTILISTA

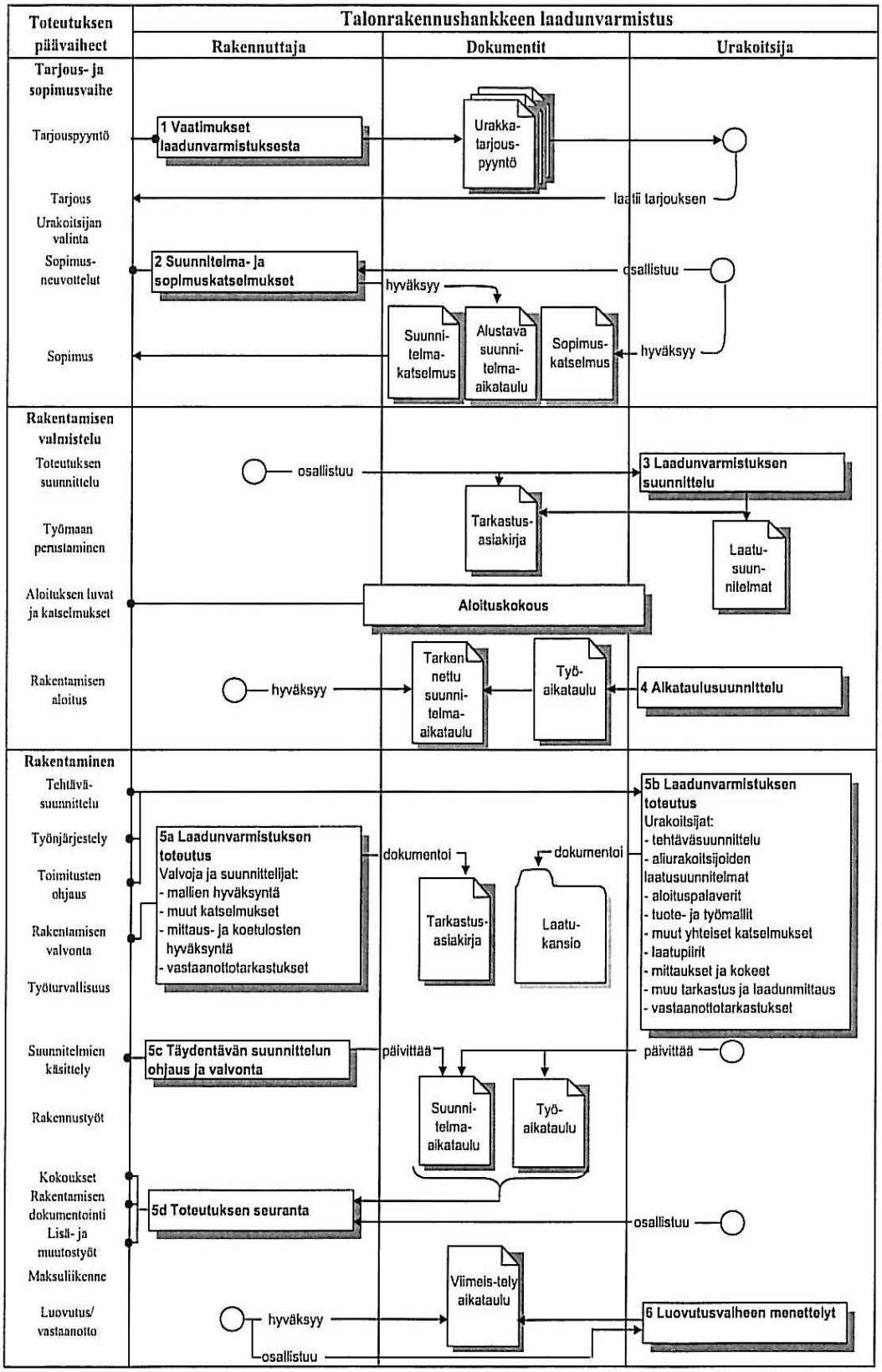
Työmaan nimi/numero	Työvaihe

TURVALLISUUSASIAT KAIVUTÖIDEN SUUNNITTELUSSA

Huomioitava asia	*OK*	*Lisätietoja / Huomautuksia*	*Asia hoidettu*
Suunnittelijan antamat ohjeet ja lähtötiedot (mm. maaperätiedot, kaivutyöselitys, tuentasuunnitelma)	☐		
Tiedot turvallisuusasiakirjasta/tilaajalta	☐		
Riskienarvioinnissa esille tulleet tiedot/vaatimukset	☐		
Maan laadun selvittäminen (esim. pohjavesi, häiriöherkkyys, kuormitukset, aikaisemmat kaivutyöt)	☐		
Maassa olevien varottavien rakenteiden selvittäminen (mm. kaapelit, johdot, putket, viemärit)	☐		
Kaivannon luokkavaatimus (leveys ja syvyys)	☐		
Kaivantosuunnitelman tarve (laatija, suunnitelman sisältö, ohjeet)	☐		
Kaivannon sortuman estäminen (mm. tuenta, luiskaus huomioiden kuormitukset, vesi, liikenne, tärinä)	☐		
Kaivannon erottaminen/suojaaminen muusta työmaasta (mm. putoamissuojaus)	☐		
Sää- ja keliolosuhteiden vaikutus (esim. roudan sulaminen, sade, kuivuminen)	☐		
Kaivannon lähellä olevat toiminnot (mm. yleisen liikenteen ja työmaaliikenteen ja työkoneiden rasitukset, varastot ja rakennukset kaivannon lähellä)	☐		
Kaivutyöstä aiheutuvat vaarat ympäristölle (esim. jalankulkuliikenteelle, muille työvaiheille, yleiselle liikenteelle, rakenteille), tarkkailumittaukset	☐		
Maarakennuskoneiden työalueen eristäminen muusta toiminnasta (vaara-alueet, peruuttaminen)	☐		
Maarakennuskoneiden havaittavuus (varoitusvalaisimet, peruutushälyttimet)	☐		
Työntekijöille ja maarakennuskoneiden kuljettajille annettava opastus ja ohjaus (ohjeet)	☐		
Turvallisuustoimenpiteet käytettäessä kaivukonetta yms. viemäriputken tai muun elementin asentamiseen	☐		
Kaivutyö rakennuksen tai rakennelman alla (tukitoimenpiteet)	☐		
Kaivannon suojaaminen liikenteeltä (suojavyöhyke, suojausjärjestelyt, kulkuesteet), nopeusrajoitukset	☐		

Laatimispäivämäärä Laatijat

LIITE 3 Talonrakennushankkeen laadunvarmistus (Junnonen, 2006)



6

3.2 Erityismenettely

3.2.1 Määräys

Rakennushankkeessa on noudatettava erityismenettelyä, jos rakennuksen suunnittelussa, rakentamisessa tai käytössä tapahtuvasta virheestä voi seurata suuronnettomuuden vaara.

Ohje

Suuronnettomuudeksi katsotaan tilanteet, joissa mahdollisen onnettomuuden vaikutuksia henkilövahinkojen taikka ympäristöön tai omaisuuteen kohdistuvien vahinkojen määrän taikka onnettomuuden laadun perusteella on pidettävä erityisen vakavana.

Arvioitaessa rakennushankkeen riskillisyyttä rakennuksen käyttäjille ja ympäristölle aiheutuvien seuraamusten perusteella lähtökohtina ovat henkilöturvallisuus sekä edellä mainitut muut perusteet. Rakennuksen käyttäjämäärän kasvaessa kasvavat yleensä myös riskit ja niiden hallinta vaikeutuu. Tämä merkitsee tehtävien vaativuustason nousua.

Selostus

Erityismenettelyä edellyttäviä rakennushankkeita, joita jäljempänä nimitetään erittäin vaativiksi rakennushankkeiksi, voivat olla esimerkiksi hankkeet, joiden rakennesuunnittelutehtävän vaativuus kuuluu Suomen rakentamismääräyskokoelman osan A2 mukaan luokkaan AA (erityisvaatimus) tai joissa rakennustyö kuuluu rakentamismääräyskokoelman kantavia rakenteita koskevissa osissa todettuun vaativuusluokkaan AA tai rakenneluokkaan 1. Vaikeat rakentamisolosuhteet, työn toteutuksessa käytettävät erityismenetelmät, erityisosaamista vaativa työkokonaisuus tai muu vaikea taikka rakennusvirheiden kannalta riskillinen työvaihe voivat edellyttää erityismenettelyä hankkeessa tai osassa sitä. Tähän luokkaan kuuluvat usein myös vaativat korjaus- ja muutostyöt, vaikka alkuperäinen rakennushanke ei tähän luokkaan olisi kuuluut.

Erityisosaamista vaativia tehtäviä ovat esimerkiksi vaativat perustustyöt vaikeissa olosuhteissa tai helposti vaurioituvassa ympäristössä sekä kantavien rakenteiden vaativat asennus- ja liittorakennetyöt samoin kuin jännitettyjen betonirakenteiden valmistus rakennuspaikalla.

3.2.2 Määräys

Rakennusvalvontaviranomainen päättää rakennusluvassa, aloituskokouksessa tai erityisestä syystä rakennustyön aikana tarvittavasta erityismenettelystä ja sen laajuudesta hankkeessa tai osassa sitä.

Ohje

Rakennusvalvontaviranomainen arvioi erityismenettelyn tarvetta edellä olevan lisäksi mm. rakennushankkeeseen ryhtyvän laatiman riskiarvion perusteella. Erityismenettelyn laajuutta ja kohdistumista harkittaessa otetaan huomioon riskiarvion perusteella laadittu riskianalyysi.

Tähän asetukseen perustuvan erityismenettelyn määrääminen ei ole tarpeen, jos rakennushankkeeseen ryhtyvä toimii rakennusalan yhteisesti laatiman dokumentoidun ja nämä määräykset täyttävän toimintamallin mukaisesti ja rakennusvalvontaviranomainen on voinut varmistua rakennushankkeeseen ryhtyvän huolehtimisvelvollisuuden riittävästä täyttymisestä.

Selostus

Erityismenettelyä koskevat jäljempänä määräykset

- *rakennustuotteen kelpoisuuden rakennuspaikkakohtaisesta selvittämisestä (3.3.3),*
- *vastaavan työnjohtajan pätevyysvaatimuksista (4.1.3 ja 4.1.4),*
- *erityisalan työnjohtajan tarpeesta (4.3.1),*
- *tarvittavasta laadunvarmistusselvityksestä (8.1)sekä*
- *ulkopuolisesta tarkastuksesta (11.3.1).*

sekä ohjeet

- *aloituskokouksen pitämisestä (määräyksiin 6.1.2 ja 6.2.1 liittyvät ohjeet ja luvun 6.3 viimeinen ohje),*
- *laadunvarmistusselvityksen sisällöstä (määräykseen 8.2 liittyvä ohje),*
- *rakennustyön aikaisista katselmuksista (määräykseen 9.2.1 liittyvä ohje) sekä*
- *loppukatselmuksesta (määräykseen 10.5 liittyvä ohje).*

Erityismenettelyn tarve on syytä arvioida alustavasti jo lupahakemusta valmistelevissa yhteydenotoissa rakennusvalvontaviranomaiseen.

LIITE 5 Erityismenettely rakentamisen riskienhallintaan (Ympäristöministeriö, 2007)

TOUKOKUU/2007

FAKTAA

rakentamisesta

Erityismenettely rakentamisen riskinhallintaan

Rakentamisen valvontaa ja teknistä tarkastusta koskevat määräykset muuttuivat 2006. Muutokset todettiin tarpeellisiksi tapahtuneiden rakennesortumien ja suuronnettomuuden vaaratilanteiden johdosta. Keskeistä on, että erityismenettelyn tarve harkitaan riskiarvion avulla.

LEHTIKUVA/KARI KOLUHAINEN

Messukeskuksena toimivan Jyväskylä Paviljongin katto romahti helmikuussa 2003.

Rakennushankkeessa on noudatettava erityismenettelyä, jos rakennuksen suunnittelussa, rakentamisessa tai käytössä tapahtuvasta virheestä voi seurata suuronnetomuuden vaara. Ohjeissa on täsmennetty suuronnettomuuden käsite ja annettu lähtökohdat rakennuksen riskillisyyden arvioimiseksi. Työkaluja ovat riskiarvio ja riskianalyysi. Rakennusvalvontaviranomainen päättää rakennusluvassa, aloituskokouksessa tai erityisestä syystä rakennustyön aikana tarvittavasta erityismenettelystä ja sen laajuudesta hankkeessa tai osassa sitä. Erityismenettelyn määrääminen ei ole tarpeen, jos ohjeissa todetut edellytykset täyttyvät.

Erityismenettelyä voidaan tarvita, kun

- rakennesuunnittelutehtävän vaativuus kuuluu luokkaan AA
- rakennustyö kuuluu vaativuusluokkaan AA tai rakenneluokkaan I

- Erityismenettelyä voivat muun muassa edellyttää:
- vaikeat rakentamisolosuhteet
- työn toteutuksessa käytettävät erityismenetelmät
- erityisosaamista vaativa työkokonaisuus, kuten vaativat perustustyöt vaikeissa olosuhteissa tai helposti vaurioituvassa ympäristössä sekä kantavien rakenteiden vaativat asennus- ja liittorakennetyöt samoin kuin jännitettyjen betonirakenteiden valmistus rakennuspaikalla
- muu vaikea tai rakennusvirheiden kannalta riskillinen työvaihe
- vaativat korjaus- ja muutostyöt. vaikka alkuperäinen ei tätä olisi edellyttänyt

Erityismenettelyn tarve on hyvä selvittää ennakkoon

ENNAKKO NEUVOTTELUT

Rakennushankkeeseen ryhtyvän on hyvissä ajoin otettava yhteyttä rakennusvalvontaviranomaiseen, jotta tämä voi arvioida erityismenettelyn tarvetta.

Neuvottelu on hyvä järjestää silloin, kun rakennushankkeeseen ryhtyvällä on pääsuunnittelija, rakennus- ja rakennesuunnittelija valittuina ja alustava riskiarvio sekä luonnosvaiheen suunnitelmat laadittuina.

Neuvotteluun osallistuvat rakennushankkeeseen ryhtyvä asiantuntijoineen, rakennusvalvontaviranomainen, muut tarpeelliset viranomaiset sekä urakoitsijan edustajat (ml. vastaava työnjohtaja), jos nämä ovat jo tiedossa. Rakennusvalvontaviranomainen voi antaa erityismenettelyn tarpeesta ennakkolausunnon. Jos erityismenettely todetaan tarpeelliseksi, käynnistää se mm. riskianalyysin laadinnan.

Näin rakennusvalvontaviranomaisella on etukäteen mahdollisuus vaikuttaa rakentamisen hyvään lopputulokseen. Neuvotteluihin käytetty aika voidaan saada takaisin lupahakemuksen nopeampana käsittelynä.

Rakentamiseen ryhtyvälle on ennakoivasta yhteydenotosta hyötyä rakentamisen turvallisuuden varmistamisen sekä hankkeen sujuvuuden kannalta. Esimerkiksi urakkaohjelmaan voidaan ottaa mukaan toimenpiteet, joita erityismenettelystä aiheutuu. Pitävät kannanotot erityismenettelystä mahdollisimman varhaisessa vaiheessa voivat vähentää yllättäviä tilanteita rakentamisen aikana.

FAKTAA rakentamisesta -tietoiskun on julkaissut 28.5.2007 ympäristöministeriön viestintäyksikkö
PL 35, 00023 VALTIONEUVOSTO
www.ymparisto.fi

YMPÄRISTÖMINISTERIÖ
MILJÖMINISTERIET
MINISTRY OF THE ENVIRONMENT

Neuvottelut edistävät erityismenettelyn ymmärtämistä ja soveltamista

Neuvottelussa käydään läpi erityismenettelyä koskevat määräykset ja niiden tarkoitus. Erityismenettely on koko rakennusajan täydentyvä prosessi, jossa eri toimijoiden on kannettava vastuunsa. Osapuolilla on hyvä olla yhteinen kanta määräysten tarkoituksesta ja soveltamisesta.

Rakennustuotteen laadun varmistaminen

Rakennusvalvontaviranomainen ohjaa hankkeeseen ryhtyvää käyttämään rakentamisessa tuotteita, joiden kelpoisuus on etukäteen selvitetty. Jos kantavan rungon tai sen jäykisteiden olennaisen osan kelpoisuus joudutaan selvittämään rakennuspaikkakohtaisesti, on selvitystehtävä annettava rakenteen suunnittelusta, valmistuksesta ja toteutuksessa mukana olevista riippumattomalle taholle.

Vastuullisen työnjohdon korotetut pätevyysvaatimukset

Neuvotteluissa todetaan vastaavalta työnjohtajalta edellytetty korotettu pätevyysvaatimus. Samalla voidaan käydä läpi erityisalan työnjohtajien tarve sekä työnjohdon kokonaisuus. Jos työn toteuttaja on jo neuvotteluvaiheessa tiedossa, voidaan kantavien rakenteiden työnjohdon pätevyys ja riittävyys todeta.

Mikäli hanke on vasta tarjouspyyntövaiheessa, voidaan erityismenettelyä ja työnjohtoa koskevat vaatimukset kirjata urakkaohjelmaan, jotta urakoitsija pystyisi ottamaan erityisvaatimukset huomioon tarjouslaskennassa.

Kolmannen osapuolen käyttö kannatettavaa

Ulkopuolinen tarkastus voi tulla kyseeseen mm. , kun rakennesuunnittelutehtävän vaativuus kuuluu luokkaan AA ja tilojen käyttötarkoitus, kuormitukset, palokuormat, suunnittelu-, laskenta- tai mitoitusmenetelmä, ympäristövaatimukset tai suunnitteluratkaisu poikkeaa tavanomaisesta. Ohjeissa on esimerkkejä kolmannen osapuolen käyttämisestä rakennustyön tarkastamisessa. Rakentamismääräysten muutoksella on tahdottu kannustaa rakennushankkeeseen ryhtyvää ulkopuolisen tarkastuksen käyttämiseen erityisen vaativissa rakennushankkeissa.

Riskien määrittely ja hallinta

Riskien arvioimiseksi neuvotteluissa tulisi käydä läpi alustava riskiarvio ja mm. seuraavia asioita:

- **selvitys erityissuunnittelun, rakennustyön ja käytön riskeistä turvallisuuden, terveellisyyden tai pitkäaikaiskestävyyden kannalta,**
- **esitys rakennustyön tarkastusasiakirjaksi laadun varmistustoimenpiteineen sekä**
- **erityissuunnittelijan, vastaavan erityissuunnittelijan, asiantuntijatarkastuksen tai ulkopuolisen tarkastuksen käyttäminen rakennustyön valvonnassa ja rakennustuotteiden valmistuksen tarkastamisessa.**

Neuvottelumuistio rakennuslupahakemukseen

Erityismenettelyyn liittyvistä asioista tehdään neuvottelumuistio, joka liitetään rakennuslupahakemuksen asiakirjoihin. Rakennuslupapäätökseen voidaan ottaa myös sellaisia asioita, jotka eivät ole olleet neuvottelujen aikana vielä tiedossa. Tällainen seikka voi olla esimerkiksi riskianalyysin täydentäminen rakennustyön tai tuoteosakaupan osalta.

Soveltamisohje erityismenettelystä (RIL 241-2007)

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto r.y. julkaisi helmikuussa 2007 soveltamisohjeen erityismenettelystä. Siinä määritetään keinoja, joilla eri osapuolet voivat vaativassa rakennushankkeessa hoitaa tehtävänsä turvallisen ja laadukkaan lop-


TEPPO LEHTINEN

putuloksen saavuttamiseksi. Toimenpidemäärittelyt ovat osin samat kuin rakentamismääräyksissä, osin vapaaehtoisia. Jälkimmäisiin kuuluvat muun muassa tehostettu tiedonkulku sekä ns. workshop-työskentely.

Julkaisun menettelytapoihin nojauduttaessa on niiden periaatteita sitouduttava noudattamaan kokonaisuudessaan. Tämä on hyvä kirjata neuvottelumuistioon ja ottaa lupapäätöksen ehdoksi.

Soveltamisohjeet kattavat lähinnä laadunvarmistusselvityksen periaatteet. Jos suunnittelun, rakennustyön tai rakennustuotteen laadun varmistamiseksi tarvitaan ulkopuolista tarkastusta, sen kohdentaminen ja laajuus tulee määrittää lupapäätöksen yhteydessä.

Lisätietoja:
www.ymparisto.fi/maankayttojarakentaminen
A1. Rakentamisen valvonta ja tekninen toteutus.
www.ymparisto.fi > Lainsäädäntö > Maankäyttö ja rakentaminen > Suomen rakentamismääräyskokoelma
Rakenteellisen turvallisuuden varmistaminen.
Erityismenettelyn soveltamisohje.
www.ril.fi

Yhteyshenkilöt ympäristöministeriössä:

Rakennusneuvos
Teppo Lehtinen
Puh. 020 490 7510
sähköposti:
teppo.lehtinen@ymparisto.fi

Rakennusneuvos
Heikki Aho
Puh. 020 490 7502
sähköposti:
heikki.aho@ymparisto.fi

LIITE 6 Vaatimuksia riskianalyysien toteuttajille ja tilaajalle (Heikkilä et al., 2007)

Vaatimuksia riskianalyysien toteuttajille ja tilaajille

Seuraavassa on koottu yhteen vaatimuksia riskianalyysiryhmän eri rooleissa toimivillehenkilöille. Osa vaatimuksista liittyy tarkasteltavassa roolissa toimivan henkilön osaamiseen, taitoon ja kykyihin. Osa vetäjän ja kirjurin vaatimuksista puolestaan liittyy tehtäviin, jotka kyseisessä roolissa toimivan henkilön on suoritettava. Rooleina on tarkasteltu toimimista riskianalyysin vetäjänä, kirjurina, riskianalyysiryhmän asiantuntijana sekä riskianalyysien kehittäjänä ja kouluttajana.

Riskianalyysin vetäjä

Osaaminen

• ymmärtää kohteen toimialaa

• ymmärtää kohteen teknologian ilmiöitä ja peruskäsitteitä (koulutustausta, kokemus)

• ymmärtää kohteessa käsiteltäviä riskityyppejä

• tuntee käytettävät analyysimenetelmät ja osaa käyttää niitä oikein

• osaa tehdä riskianalyysin työsuunnitelman, määritellä tarvittavat asiantuntijat sekä lähtö- ja taustamateriaalin ja arvioida tarvittavat resurssit

• hallitsee kokouskäytännöt.

Tehtävät

• vastaa riskianalyysin toteuttamisesta asetetun tavoitteen ja laaditun sopimuksen mukaisesti

• tutustuu etukäteen kohteeseen ja siihen liittyvään materiaaliin

• laatii sopimuksen riskianalyysistä ja vahvistaa riskianalyysin tavoitteen tilaajan kanssa

• valitsee menetelmän ja tarkastelutason kohteen ja analyysille asetetun tavoitteen mukaan

• varmistaa tilaajalta käytössään olevat resurssit (asiantuntijat, materiaalin, aikataulun,

rahan)

• suunnittelee tarvittavat analyysi-istunnot ja niiden toteutuksen

• perehdyttää ryhmän tavoitteeseen ja riskianalyysin perusteisiin joko etukäteen tai ensimmäisen istunnon alussa

• kertoo selkeät säännöt riskianalyysiryhmälle ja noudattaa sääntöjä myös itse

• johtaa asiantuntijaistuntoja jämäkästi ja tasapuolisesti sekä vetää yhteen keskustelun

tulokset

• seuraa ja varmistaa dokumentoinnin laadun analyysi-istunnon aikana ja sen jälkeen

• laatii riskianalyysin loppuraportin yhdessä kirjurin kanssa

• välittää analyysin tulokset tilaajalle selkeästi niin kirjallisesti kuin suullisestikin

• pitää yhteyttä tilaajaan ja asiantuntijaryhmään ennen riskianalyysiä, sen aikana ja sen jälkeen

• varmistaa tilaajalta myös riskianalyysiin liittyvän tiedotuksen toteutumisen.

Riskianalyysin kirjuri

Osaaminen

• ymmärtää käytettävän riskianalyysimenetelmän asettamat vaatimukset

• hallitsee kulloisenkin toimialan sanaston ja teknologian pääpiirteet

• hallitsee käytössä olevat dokumentointiohjelmat

• pystyy seuraamaan riskianalyysiryhmän keskustelua ja poimimaan siitä oleellisen

• osaa kirjata esille tulleet syyt ja seuraukset yksiselitteisesti ja johdonmukaisesti, jotta muutkin kuin paikalla olleet ymmärtävät tehdyt kirjaukset.

Tehtävät

• tutustuu etukäteen kohteeseen ja siihen liittyvään materiaaliin

• vastaa tarvittavien muistiinpanovälineiden, tietokoneen ja tarvittavien ohjelmistojen

ja lomakepohjien toimittamisesta kokoukseen

• kirjaa oma-aloitteisesti, selkeästi ja ymmärrettävästi oleelliset asiat käydystä keskustelusta

• varmistaa aktiivisesti, että on ymmärtänyt ja kirjannut asiat oikein ja selkeästi

• huolehtii dokumenttien tallentamisesta, muokkaamisesta ja jakelusta riskianalyysiryhmän
jäsenille
• toimii yhteistyössä vetäjän ja ryhmän kanssa koko riskianalyysiprosessin ajan
• laatii riskianalyysin loppuraportin yhdessä riskianalyysin vetäjän kanssa.

Riskianalyysiryhmän asiantuntijajäsen

• ymmärtää riskianalyysin yleisperiaatteet ja onnettomuustapahtuman dynamiikkaa
• on vahva oman asiantuntemusalansa ammattilainen
• kykenee ryhmätyöskentelyyn
• antaa omaa aikaansa ja osaamistaan ryhmän käyttöön
• sitoutuu riskianalyysin tekemiseen
• ymmärtää riskianalyysityöskentelyn merkityksen ja keskittyy siihen.

Riskianalyysien kehittäjä ja kouluttaja

• hallitsee hyvin riskianalyysien vetämisen ja dokumentoinnin
• hallitsee syvällisesti useampia riskianalyysimenetelmiä ja riskityyppejä
• hallitsee hyvin joitakin teknologia-aloja
• hallitsee hyvin riskianalyysin laadukkaan toteuttamisen prosessin
• omaa pedagogisia taitoja.

Riskianalyysin tilaajalle asetettavia vaatimuksia

Myös riskianalyysin tilaajataho on omalta osaltaan vastuussa riskianalyysin onnistumisesta.Riskianalyysin tilaaja voi olla kohdeyritys itse, mutta myös esimerkiksi kohdeyritykselle suunnittelutyötä tekevä yritys. Jos riskianalyysin tilaaja on suunnittelutoimisto, on yhteyksien kohdeyritykseen toimittava saumattomasti. Kohdeyrityksestä on esimerkiksi saatava riskianalyysiryhmään riittävä asiantuntemus edustamaan käyttö- ja kunnossapitoasioita.

Riskianalyysin tilaaja

• tuntee riskianalyysin yleisperiaatteet ja sen mahdollisuudet
• määrittelee riskianalyysin tavoitteen ja kohteen
• asettaa vaatimukset vetäjän ammattitaidolle ja kokemukselle
• varmistuu toimittajan kyvystä toteuttaa riskianalyysi laadukkaasti

• huolehtii tarvittavien lähtö- ja taustatietojen saamisesta
• muodostaa yhteistyökykyisen, tavoitteeseen sitoutuneen ja motivoituneen asiantuntijaryhmän
• varmistaa tarvittavan osaamisen saatavuuden koko analyysin ajan
• tiedottaa riskianalyysistä, sen tavoitteesta ja toteutuksesta tarvittaville sidosryhmille
• seuraa riskianalyysin toteutumista ja tarvittaessa puuttuu etenemistä haittaaviin ongelmiin.

LIITE 7 Potentiaalisten ongelmien analyysi (POA) – menetelmän kuvaus (VTT, 2008)

Potentiaalisten ongelmien analyysi (POA) - Menetelmän kuvaus

Tarkoitus

Potentiaalisten ongelmien analyysi on menetelmä, jonka avulla voidaan nopeasti tutkia järjestelmään liittyviä onnettomuusvaaroja. Tarkastelussa ei etukäteen rajata mitään ongelmatyyppiä analyysin ulkopuolelle. Tämän vuoksi menetelmällä on mahdollista tunnistaa eri tyyppisiä ja tasoisia ongelmia. Menetelmä ei kuitenkaan kata ongelma-alueita järjestelmällisesti, joten se soveltuu parhaiten järjestelmään liittyvien vaarojen kartoitukseen.

Analyysin käyttö

Potentiaalisten ongelmien analyysissa on useita vaiheita. Analyysi laaditaan ryhmätyönä vastuullisen vetäjän johdolla. Kohteen koosta riippuen joudutaan pitämään useampiakin analyysikokouksia, joiden tyypillinen kesto on 2 - 4 tuntia kerrallaan. Analyysin vaiheet on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Potentiaalisten ongelmien analyysin vaiheet

Häiriöiden ja vaarojen tunnistaminen aivoriihessä	Osa 1, hiljainen aivoriihi • Ideointilomakkeen ja avainsanojen käyttö • Kiinnitetään erityistä huomiota suuriin merkittäviin vaaralähteisiin ja seurauksiltaan vakaviin vaaroihin Osa 2, keskustelumuotoinen aivoriihi • Järjestelmällinen eteneminen kohde kohteelta (esimerkiksi tarkasteltava prosessin tai alueen mukaan) TULOSTE: Vaaraluettelo
Häiriöiden ja vaarojen arviointi	Osa 1, jatkokäsiteltävien vaarojen valinta Osa 2, käsiteltäviksi valittujen vaarojen syiden ja seurausten selvittäminen ja riskin suuruutta kuvaavan tunnusluvun arviointijärjestelmällinen

	• järjestelmällinen käsittely analyysityöryhmässä • analyysilomakkeen käyttö TULOSTE: Alustavat analyysilomakkeet (häiriöt ja vaarat syineen ja seurauksineen sekä riskien arviointi analyysilomakkeelle kirjattuina)
Toimenpide-ehdotusten kehittäminen	Järjestelmällinen tarkastelu arvioinnin yhteydessä tai erillisessä kokouksessa. TULOSTE: Lopulliset analyysilomakkeet
Analyysin raportointi	TULOSTE: Loppuraportti, jonka liitteinä ovat häiriö- ja vaaraluettelo ja analyysilomakkeet

Analyysin kulku

Valmistelu

Analyysin toteutuksen edellytyksenä on, että laitoksen johto antaa tukensa ja myöntää resurssit analyysin laadintaan. POA aloitetaan valitsemalla ja rajaamalla tarkasteltava kohde. Valinnan ja rajausten perusteena voi olla:

- aikaisemmin sattuneet vuodot, tulipalot tai muut vaaratilanteet
- muilla osastoilla/yksiköissä sattuneet vaaratilanteet
- vastaavissa kohteissa muualla sattuneet vaaratilanteet ja häiriöt
- kohteen suuri palokuorma
- kohteen ilmeinen prosessiturvallisuutta vaarantava riski
- halu selvittää ja parantaa prosessiturvallisuutta.

Valintaperusteet ja kohteen rajaukset on hyvä esitellä tarkastelun loppuraportissa.

Analyysin onnistuminen vaatii sille nimettyä vastuullista vetäjää. Hänen ei tarvitse olla kohteen asiantuntija vaan ennen kaikkea POA-menetelmän asiantuntija, joka pystyy johtamaan varsinaisten kohteen asiantuntijoiden analyysityöskentelyä. Usein ns. työpaikkasokeus haittaa analyysityöskentelyä. Monasti on todettu, että ulkopuolinen vetäjä esimerkiksi naapuriosastolta, yrityksen toisesta yksiköstä tai jopa ulkopuolinen konsultti pystyy johtamaan tarkastelua paremmin ilman "*näin-on-aina-tehty*" ja "*meillä-ei-ole-koskaan-sattunut-mitään*" - asennetta.

Vetäjän tehtäviä ovat mm.

- kohteesta tarvittavan tiedon hankkiminen
- työryhmän kokoaminen
- toteutussuunnitelman ja kokousaikataulun laatiminen
- työryhmän perehdyttäminen analyysimenetelmään
- työryhmäkokousten vetäminen
- tulosten raportointi ja tiedottaminen
- jatkotoimenpiteiden suunnittelun organisointi.

Tarkasteltavan kohteen laajuudesta ja monimutkaisuudesta riippuen kohde voidaan jakaa pienempiin osiin, joita tarkastellaan kutakin erikseen. Jako voidaan tehdä esimerkiksi toiminnan luonteen tai maantieteellisten tai rakennusteknisten seikkojen perusteella.

Ennen analyysia on perehdyttävä tarkasteltavaan kohteeseen. Vaikka vetäjän ei tarvitse olla kohteen asiantuntija, hänen on kuitenkin syytä perehtyä kohteeseen ja sen toimintoihin. Seuraavassa luettelossa on esitetty asioita, jotka on hyvä selvittää ennen varsinaista analyysityöskentelyä:

- yleistiedot laitoksesta, toimintakuvaus, palovaarallisuusluokka
- pohjapiirros, osastointi, kulkutiet, huonejako, suojaustaso
- henkilökunnan määrä, työajat, asiakkaat, huolto- ja korjausmiehet
- koneet ja laitteet
- käytettävät aineet (vaaralliset ominaisuudet, määrä, sijainti, varastointi/prosessi)
- viestintä, sisäinen/ulkoinen hälytysjärjestelmä, (missä, mitä, mihin hälytys menee)
- vartiointi, kulunvalvonta päivä/yö
- onko työntekijöille ohjeita vaarallisten tilanteiden/onnettomuuksien varalta
- onko työntekijöille järjestetty koulutusta (sammutus, pelastus):
- onko sisäinen pelastussuunnitelma tai turvallisuussuunnitelma laadittu
- onko ulkopuolisille työntekijöille ohjeita.

Yrityksen tai valitun kohteen ympäristö:

- teollisuus- ja liikelaitokset
- varastot ja muut rakennukset
- asuinalueet
- koulut, hoitolaitokset, päiväkodit
- liikenneväylät.

On myös selvitettävä, onko tehty muita analyyseja tai kartoituksia, joista nyt voisi olla hyötyä tai onko sattunut tulipaloja, vuotoja tai muita vaaratilanteita, joita olisi tutkittu ja raportoitu.

Analyysityöryhmän perustaminen

Varsinainen analysointi tehdään työryhmässä. Sen suositeltava koko on vetäjän lisäksi 3 - 6 henkeä. Ryhmään valitaan henkilöitä, joilla on aikaa osallistua analyysiprojektiin ja joilla on hyvä käsitys kohteen toiminnasta ja valmius keskustella asioista rakentavassa hengessä. Ryhmän jäsenet voisivat edustaa esimerkiksi seuraavanlaista osaamista:

- **Kemikaaliasiantuntija**, joka esim. kemikaalipaloihin liittyen tuntee syttymissyyt, palon kehittymisen, seuraukset ja palontorjuntatekniikan.

- **Käytön asiantuntija**, esim. työnjohtaja ja/tai kokenut työntekijä, joka tuntee käytännön toiminnan, laitteet ja olosuhteet kohteessa.
- **Kunnossapidon asiantuntija**, esim. insinööri, työnjohtaja tai kokenut laitosmies, joka tuntee laitteet, rakenteet ja kunnossapidon toiminnan ja olosuhteet .
- **Johdon asiantuntija**, esim. käyttö- tai talouspäällikkö, joka tuntee käytännön toiminnan lisäksi talousasioita, keskeytys- ja materiaalivahingot.
- **Sihteeri**, ei kuitenkaan välttämätön, jos vetäjä voi toimia myös sihteerinä. Sihteerillä on hyvä olla tekninen peruskoulutus.

Ryhmän kokoa ei tule paisuttaa tarpeettomasti. Jos ryhmän asiantuntemus ei riitä johonkin yksityiskohtaan, voidaan asia selvittää kokousten välillä tai kyseisen ongelman käsittelyn ajaksi paikalle kutsutaan asiantuntija.

Kun analyysityöryhmä on perustettu, voidaan yhdessä tutustua tarkasteltavaan kohteeseen. Jos kohde on pieni ja kaikille tuttu, ei erillistä tutustumista tarvita.

Analyysin laatiminen työryhmässä

Varsinainen analyysi laaditaan kahdessa vaiheessa. Ensin aivoriihessä kerätään mahdollisia ongelmia ja vaaroja. Sen jälkeen ideat järjestellään ja luokitellaan. Toisen vaiheen analyysiistunnoissa jatkokäsiteltäviksi valittuja vaaroja tarkastellaan yksityiskohtaisemmin. Tässä vaiheessa mietitään palon syitä ja seurauksia, määritellään riskiluku sekä arvioidaan nykyisen varautumisen riittävyyttä ja kehitetään tarvittaessa parannustoimenpide-ehdotuksia.

Aivoriihi

Aivoriihen tavoitteena on saada paljon ideoita, lennokkaat, villit ideat ovat tervetulleita. Periaatteena on, että ideoiden arvostelu on kielletty koko ideoinnin ajan. Ideoinnissa toivotaan jatkoideoita, parannuksia ja yhdistelmiä muiden ideoista. Kaikki ideat kirjataan heti paperille.

Idean pitää olla riittävän yksityiskohtainen ja siinä tulisi selvästi olla vaaran syy ja onnettomuuteen tai häiriöön johtava tapahtumaketju.

Ongelmien ja vaarojen ideointiin aivoriihessä käytetään idealomaketta. Jokaiselle jaetaan lomake ja kukin kirjoittaa kolme palovaaraa tai ongelmaa. Sen jälkeen lomaketta kierrätetään analyysityöryhmässä seuraavalle. Luettuaan edelliset ideat hän kirjoittaa jälleen 3 ideaa. Ne voivat olla uusia tai ne voivat olla aiemmin kirjoitetuista ideoista jatkokehiteltyjä. Näin lomakkeita kierrätetään, kunnes lomakkeet ovat täynnä tai ideat tyrehtyvät. Ideoinnin apuna voidaan käyttää avainsanoja tai "tarkistuslistaa" (taulukko 2), joka näytetään kaikille ryhmäläisille esimerkiksi piirtoheittimen avulla.

Taulukko 2. Tulipaloja koskeva ote tarkistuslistasta, jota voidaan käyttää ideoinnin apuna johdattelemaan ajatuksia.

Palava materiaali	palavat nesteet: varastointi ja käsittely
	palavat kaasut
	roskat ja jätteet

	palavat kiinteät aineet, paperi, pöly palavat rakenteet
Sytytyslähteet	Tupakointi tulityöt lämmityslaitteet kemialliset reaktiot sähkölaitteet valvomattomat koneet koneiden ja laitteiden rikkoutuminen varomaton työskentely tuhopoltto
Happi	ilmavuodot suljettuihin järjestelmiin happivuodot
Sammutusvalmiudet ja palon hallinta	alkusammutuskalusto alkusammutuskoulutus automaattiset sammutuslaitokset palon ilmaisimet osastointi ja palo-ovet
Olosuhteet ja erikoistilanteet	loma-aika, tilapäistä, kokematonta henkilökuntaa korjaus- tai huoltotilanne, ulkopuolisia urakoitsijoita sääolosuhteet, vuodenaika, vuorokaudenaika kuljetukset, liikenne liikkuminen alueella, myös vieraat yleinen siisteys ja järjestys

Normaalisti ideoinnin aikana ei kirjatuista ideoista keskustella, ainoastaan vetäjä ohjaa lomakkeiden vaihtoa ja esittelee mahdolliset avainsanat. Usein kannattaa hiljaisen aivoriihen lopuksi kuitenkin vielä yhdessä keskustellen miettiä lisää vaaroja tai jatkokehitellä jo esiin tulleita vaaroja. Tässä vaiheessa ei kuitenkaan ole tarkoitus kehitellä parannustoimenpide-ehdotuksia. Syyttely ja selittely eivät kuulu tämän analyysin periaatteisiin. Keskustelussa kannattaa edetä järjestelmällisesti esimerkiksi prosessin tai materiaalien kulun mukaisesti tai maantieteellistä jakoa käytettäessä kohteen rakennukset, palotekniset osastot tai yksittäiset huoneet yksi kerrallaan.

Ideoiden luokittelu

Normaalisti ideoita kertyy runsaasti, ja osa niistä on käytännössä mahdottomia tai niin vähäisiä, että niitä ei kannata tarkastella yksityiskohtaisemmin. Kuitenkin myös epätodennäköisiä, lähes mahdottomina pidettäviä mahdollisuuksia tulee arvioida. Mahdottomilla asioilla on ikävä taipumus toteutua. Ideat on hyvä luokitella ja lajitella esimerkiksi seuraavan luokittelun mukaisesti:

- A - Jatkokäsittelyä edellyttävät vaarat
- B - "Vanhat" ja luotettavasti hoidossa olevat vaarat
- C - Vailla käytännön merkitystä olevat, "mielikuvitusvaarat", iäisyysongelmat, joille ei mahda mitään ja pienet vaarat.

Vaikka jatkokäsittelyyn valitaankin vain osa tunnistetuista vaaroista, ei muitakaan pidä hylätä. Vähintäänkin ne esitetään analyysin loppuraportin liitteenä olevassa vaaraluettelossa. Myöhemmin esimerkiksi seurantakokouksissa on hyvä tarkistaa idealuettelo ja arvioida, onko siinä vielä sellaisia vaaroja, joita tulisi käsitellä tarkemmin.

Vaarojen arviointi ja riskiluvun määritys

Jatkokäsittelyyn valittuja ideoita tarkastellaan yksityiskohtaisesti analyysityöryhmässä. Analyysin vetäjä johtaa puhetta ja esittelee kulloinkin käsiteltävän vaaratilanteen. Kuten ideoinnin keskustelu-vaihe, myös yksityiskohtainen tarkastelu etenee prosessin kulun tai materiaalivirtojen mukaisesti ja maantieteellisessä jaossa tarkoituksenmukaisesta kohdasta aloittaen alueen läpi rakennuksesta, paloteknisestä osastosta ja huoneesta toiseen.

Analyysin tulokset kirjataan ensimmäisessä vaiheessa analyysilomakkeelle, jossa on sarakkeet vaaraa, sen syitä, varautumista, seurauksia, riskilukua ja toimenpide-ehdotuksia varten.

Ensin arvioidaan, missä tilanteessa tai olosuhteissa kussakin ideassa kuviteltu vaaratilanne on mahdollinen. Tarkoitus on tunnistaa syitä, tilanteita ja olosuhteita, jotka mahdollistavat vaaran toteutumisen. Missään vaiheessa ei haeta syyllisiä. Vaaran kuvaamisen jälkeen arvioidaan seurauksia, eli kuinka suureksi esim. palo voisi kehittyä ja millaiset henkilö-, materiaali- ja keskeytysvahingot se voisi aiheuttaa. Kannattaa miettiä erikseen todennäköisiä seurauksia ja pahimpia mahdollisia seurauksia, jos esimerkiksi alkusammutus ei onnistu tai palo ehtii kehittyä pitkälle ennen sen havaitsemista.

Kun vaaran syyt on tunnistettu ja seuraukset arvioitu, voidaan määritellä kyseisen riskin suuruus. Riskin suuruuteen vaikuttavat tapahtuman todennäköisyys ja seurausten vakavuus (henkilövahingot, materiaalivahingot ja keskeytysvahingot).

Riskin arviointi

Kaikkiin vaarojen tunnistamismenetelmiin voi liittää myös riskin määrittelyn karkealla tasolla. Kun vaaran syyt on tunnistettu ja seuraukset arvioitu, voidaan kyseisen riskin suuruus määritellä. Riskin suuruuteen vaikuttavat tapahtuman todennäköisyys ja seurausten vakavuus.

Yksinkertainen karkea luokittelu on monasti helpompi laatia ja antaa hyvän kuvan eri riskien keskinäisistä eroista.

Muista, että riskin suuruuden määrittämiseen käytetty aika ei lisää eikä vähennä riskiä. Älä siis uhraa liikaa aikaa riskilukuihin.!

Varautuminen

Riskin arvioinnin jälkeen arvioidaan tarkasteluhetken varautumista kyseiseen tilanteeseen. Varautumisella tarkoitetaan esimerkiksi sytytyslähteiden eliminointia, myrkyllisen kemikaalin eliminointia tai minimointia, alkusammutuskalustoa, osastointia, paloilmoitusjärjestelmää, yleistä järjestystä ja siisteyttä, ohjeistusta, valvontaa ja henkilökunnan koulutusta onnettomuuksien varalta. Jos varautumista ei joiltain osin pidetä riittävänä, tehdään parannustoimenpide-ehdotuksia. Kun yksi tunnistettu vaaratilanne on käsitelty loppuun, jatketaan käsittelyä seuraavan vaaran osalta edellä kuvatulla tavalla.

Esimerkki todennäköisyyden ja vahinkojen suuruuden kertoimista

Karkea riskin määrittely

Raportointi

Jotta analyysityöstä saadaan täysi hyöty, tulee tehty työ raportoida huolellisesti. Kirjaukset analyysilomakkeisiin tulee tehdä niin, että myöhemminkin niitä lukevalle selviää, mistä on kysymys. Lomakkeiden lisäksi on hyvä laatia yhteenvetoraportti, jotta myöhemmin voidaan todeta, mitä on tehty, miten on tehty, ketkä analyysin tekemiseen ovat osallistuneet ja mitkä ovat analyysin keskeiset tulokset ja jatkosuunnitelmat. Tällöin analyysin hyödyntäminen ja päivittäminen myöhemmin vuosienkin kuluttua on helpompaa.

Esimerkki hyvän raportin sisällöstä

Jatkotoimenpiteet

Jotta parannustoimenpide-ehdotukset toteutuisivat, tulee analyysin lopuksi sopia, mitä ehdotuksia ja miten ryhdytään viemään eteenpäin. Samalla sovitaan asioiden hoidolle vastuuhenkilöt ja karkea aikataulu. Edistymistä seurataan sopivin välein, esimerkiksi puolen vuoden välein pidettävissä seurantakokouksissa.

Kaikkia kehitettyjä parannustoimenpiteitä ei voida toteuttaa välittömästi. Riskinarvioinnin avulla on tunnistettu suurimmat riskit. Yleensä kannattaa aloittaa näiden poistamisella tai pienentämisellä. Joskus parannustoimenpiteet vaativat jatkoselvityksiä, lisäsuunnittelua ja jopa investointeja. Ei kuitenkaan kannata jäädä odottamaan suurimpien riskien poistamista, vaan samanaikaisesti voidaan hoitaa pieniä parannuksia pienempien riskien hallitsemiseksi. Usein toimenpiteet voidaan toteuttaa helposti ja pienin panostuksin. Tällaisia ovat esimerkiksi uudet toimintatavat ja henkilökunnan koulutus.

Tarkastelun tulokset on saatettava asianomaisten tietoon. Sekä laitoksen johtoa että kohteen henkilöstöä tulee informoida tuloksista ja kertoa jatkotoimenpiteistä. Tiedottaminen voidaan hoitaa yrityksen normaalin tiedotuskäytännön mukaisesti järjestämällä tiedotustilaisuuksia, tiedottamalla asiasta sopivissa kokouksissa, julkaisemalla keskeiset tulokset esimerkiksi henkilökuntalehdessä tai laatimalla erillinen tiedote.

Potentiaalisten ongelmien analyysi (POA)

Tavoite

Löytää kohteen keskeisimmät ongelma-alueet sekä keskeisimpiin vaaroihin liittyvät onnettomuustekijät.

Periaate

Ideoiden hakumenetelmillä (mm. aivoriihi) etsitään kohteen onnettomuusvaaroja ja luokitellaan ne. Ideointi voidaan rajata esimerkiksi tapaturmavaaroihin, palovaaroihin tai ympäristöriskeihin. Ideoinnissa voidaan käyttää avainsanalistoja. Tämän jälkeen analysoidaan keskeisimpien vaarojen syyt ja seuraukset.

Käyttötarkoitus

- Koko laitos ja kaikki sen toiminnot.

Mihin ei sovellu tai soveltuu huonosti

- Laitoksen osajärjestelmien yksityiskohtien järjestelmällinen tutkiminen.

Vaihtoehtoiset menetelmät

- Vaarallisten skenaarioiden analyysi (HAZSCAN)
- Reaktiomatriisi
- MOND-indeksi
- DOW-indeksi

- Tarkistuslistat
- Suunnittelukatselmus

Täydentävät menetelmät

- Poikkeamatarkastelu (HAZOP)
- Toimintovirheanalyysi (TVA)
- Työn turvallisuusanalyysi (TTA)

Tulokset

- Luettelo tunnistetuista kohteen vaaroista ja keskeisimpiin vaaroihin liittyvät onnettomuus-tekijät.
- Löydetään turvallisuuden kannalta keskeiset järjestelmän osat.
- Lähtökohta jatkoanalyyseille.

Rajoituksia ja puutteita

- Vaarojen etsintämenettely ei ole systemaattinen.
- Vaaroille vain karkea luokittelu.
- Organisaatioon ja tiedonkulkuun liittyvät ongelmat vain rajoitetusti mukana.

	POTENTIAALISEN ONGELMIEN ANALYYSI (POA) - LOMAKE **KOHDE:** Laatijat:	Analyysin pvm: Raportti: Sivu ( )

Vaaraa aiheuttava tilanne	Seuraukset	Riski	Nykyinen Varautuminen	Toimenpide-ehdotukset/ Lisäkysymyksiä